

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-148507

(43)Date of publication of application : 29.05.2001

(51)Int.Cl.

H01L 33/00

(21)Application number : 11-286728

(71)Applicant : NICHIA CHEM IND LTD

(22)Date of filing : 07.10.1999

(72)Inventor : TANIZAWA KOJI

(30)Priority

Priority number : 11087078 Priority date : 29.03.1999 Priority country : JP

11095420 01.04.1999

11098158 05.04.1999 JP

11113050 21.04.1999

11254238 08.09.1999 JP

JP

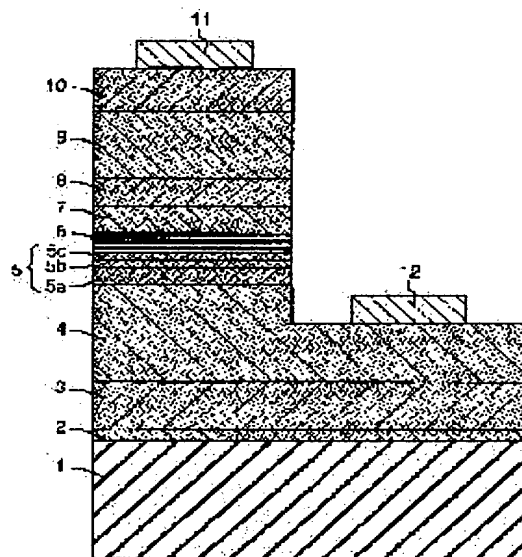
JP

(54) NITRIDE SEMICONDUCTOR DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a nitride semiconductor light-emitting device, which is enhanced in emission output and improved in electrostatic breakdown voltage by the use of an active layer of multi-quantum well structure, enabling wide application to various products.

SOLUTION: An active layer 7 containing $\text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 \leq a < 1$) is of a multi-quantum well structure, and a P-type impurity-containing P-type clad layer 8 f multilayered film, composed of a first Al-containing nitride semiconductor layer and a second nitride semiconductor layer different in composition from the first nitride semiconductor layer or a P-type impurity-containing P-type clad layer 8 of single film which is formed of $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 \leq b < 1$), a P-type impurity-containing lightly-doped layer 9 which is lower in P-type impurity concentration than the P-type clad layer 8, and a P-type impurity-containing contact layer 10 which is higher in P-type impurity concentration than the P-type clad layer 8 and the P-type low-concentration doped layer 9 are provided on the active layer 7.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 04.04.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3551101

[Date of registration] 14.05.2004

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-148507

(P2001-148507A)

(43) 公開日 平成13年5月29日 (2001.5.29)

(51) Int. Cl.⁷
H 0 1 L 33/00

識別記号

F I
H 0 1 L 33/00ターミナル (参考)
C 5 F 0 4 1

審査請求 未請求 請求項の数28 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願平11-286728

(22) 出願日 平成11年10月7日 (1999.10.7)

(31) 優先権主張番号 特願平11-87078

(32) 優先日 平成11年3月29日 (1999.3.29)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平11-95420

(32) 優先日 平成11年4月1日 (1999.4.1)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平11-98158

(32) 優先日 平成11年4月5日 (1999.4.5)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72) 発明者 谷沢 公二

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(74) 代理人 100074354

弁理士 豊栖 康弘 (外1名)

Fターム (参考) 5F041 AA04 AA21 CA05 CA34 CA40

CA57 CA65 CA73 FF01 FF11

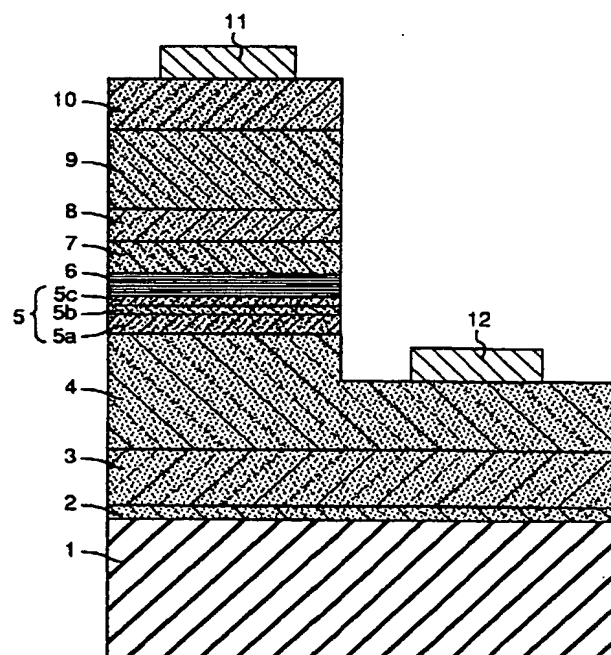
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体素子

(57) 【要約】

【課題】 多重量子井戸構造の活性層を用い種々の応用製品への適用範囲の拡大を可能とするため、発光出力がより向上し、静電耐圧が良好な窒化物半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 活性層7が $\text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 \leq a < 1$) を含んでなる多重量子井戸構造であり、この活性層7上に順に、Alを含む第1の窒化物半導体層と、その第1の窒化物半導体層と異なる組成を有する第2の窒化物半導体層とが積層されp型不純物を含有してなる多層膜p型クラッド層8又は $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 \leq b \leq 1$) よりなりp型不純物を含有する単一膜p型クラッド層8と、前記p型クラッド層8のp型不純物濃度より、低濃度でp型不純物を含有するp型低濃度ドープ層9と、前記p型クラッド層8及びp型低濃度ドープ層9のp型不純物濃度より高濃度でp型不純物を含有するp型コンタクト層10とを有する。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に、n型窒化物半導体層を介して活性層を備えた窒化物半導体素子において、

前記活性層が、 $\text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 \leq a < 1$) を含んでなる多重量子井戸構造でありかつ、

前記活性層上に、

A1を含む第1の窒化物半導体層と、該第1の窒化物半導体層と異なる組成を有する第2の窒化物半導体層とが積層されてなり、さらに該第1の窒化物半導体層及び第2の窒化物半導体層の少なくとも一方にp型不純物を含有してなるp型多層膜層と、

該p型多層膜層上に、前記p型多層膜層のp型不純物濃度より低濃度でp型不純物を含有するp型低濃度ドープ層と、

該p型低濃度ドープ層上に、前記p型多層膜層及びp型低濃度ドープ層のp型不純物濃度より、高濃度でp型不純物を含有するp型コンタクト層とを有することを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項2】 前記p型低濃度ドープ層が $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ ($0 < s < 0.5$) からなり、さらにp型低濃度ドープ層のA1組成比が、前記p型多層膜層の平均のA1組成比より小さいことを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体素子。

【請求項3】 前記p型低濃度ドープ層が $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ ($0 < s < 0.5$) 層を含んでなる多層構造であり、さらにp型低濃度ドープ層の平均のA1組成比が、前記p型多層膜層の平均のA1組成比より小さいことを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体素子。

【請求項4】 基板上に、n型窒化物半導体層を介して活性層を備えた窒化物半導体素子において、

前記活性層が、 $\text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 \leq a < 1$) を含んでなる多重量子井戸構造でありかつ、

前記活性層上に、

$\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 \leq b \leq 1$) を含んでなりp型不純物を含有するp型単一膜層と、

該p型単一膜層上に、前記p型単一膜層のp型不純物濃度より、低濃度でp型不純物を含有するp型低濃度ドープ層と、

該p型低濃度ドープ層上に、前記p型単一膜層及びp型低濃度ドープ層のp型不純物濃度より、高濃度でp型不純物を含有するp型コンタクト層とを有することを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項5】 前記p型低濃度ドープ層が $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ ($0 < s < 0.5$) からなり、さらに前記p型低濃度ドープ層のA1組成比が、前記p型単一膜層のA1組成比より小さいことを特徴とする請求項4に記載の窒化物半導体素子。

【請求項6】 前記p型低濃度ドープ層が $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ ($0 < s < 0.5$) 層を含んでなる多層膜であり、さらに前記p型低濃度ドープ層の平均のA1組成比が、前

2

記p型単一膜層のA1組成比より小さいことを特徴とする請求項5に記載の窒化物半導体素子。

【請求項7】 前記p型低濃度ドープ層中のp型不純物が、前記p型多層膜層と前記p型コンタクト層とから拡散により含有されたもの、又は前記p型単一膜層とp型コンタクト層とから拡散により含有されたものであることを特徴とする請求項1～6のうちの1つに記載の窒化物半導体素子。

【請求項8】 前記p型多層膜層のp型不純物濃度が、 $5 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ であることを特徴とする請求項1～3及び7のいずれかに記載の窒化物半導体素子。

【請求項9】 前記p型単一膜層のp型不純物濃度が、 $5 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ であることを特徴とする請求項4～7のいずれかに記載の窒化物半導体素子。

【請求項10】 前記p型低濃度ドープ層のp型不純物濃度が、 $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 未満であることを特徴とする請求項1～9のいずれかに記載の窒化物半導体素子。

【請求項11】 前記p型コンタクト層のp型不純物濃度が、 $1 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ であることを特徴とする請求項1～10のいずれかに記載の窒化物半導体素子。

【請求項12】 前記n型窒化物半導体層として、アンドープの窒化物半導体からなる下層、n型不純物がドープされている窒化物半導体からなる中間層、及びアンドープの窒化物半導体からなる上層の少なくとも3層が順に積層されてなるn型第1多層膜層を有することを特徴とする請求項1～11のうちの1つに記載の窒化物半導体素子。

【請求項13】 前記基板上に順に、アンドープGaN層及びn型不純物を含有するn型コンタクト層を有することを特徴とする請求項1～12のうちの1つに記載の窒化物半導体素子。

【請求項14】 前記n型第1多層膜層が、前記n型コンタクト層上に形成されており、更に前記アンドープGaN層、n型コンタクト層、及びn型第1多層膜層の合計の膜厚が、 $2 \sim 20 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項13に記載の窒化物半導体素子。

【請求項15】 基板上にn型窒化物半導体層を介して形成された量子井戸構造の活性層と、p型窒化物半導体からなり前記活性層上に形成された第1p型層と、p型窒化物半導体からなり前記第1p型層上に形成されたp型コンタクト層とを備えた窒化物半導体素子において、前記p型コンタクト層と前記第1p型層との間にさらにp型低濃度ドープ層を備え、該p型低濃度ドープ層のp型不純物濃度は前記p型コンタクト層及び前記第1p型層から厚さ方向に離れるに従ってそれぞれ減少する濃度分布を有し、その濃度分布における最小p型不純物濃度は $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 未満であることを特徴とする窒化物半導体発光素子。

3

【請求項16】 前記p型低濃度ドーブ層は、前記p型コンタクト層と前記第1p型層の間にアンドープ窒化物半導体層として形成され、前記濃度分布は前記p型コンタクト層及び前記第1p型層からp型不純物が拡散することにより形成された請求項15記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項17】 前記アンドープ窒化物半導体層の膜厚が、前記ボトム領域のp型不純物濃度が $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 未満になるように設定された請求項16記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項18】 前記活性層が、少なくとも1つの $\text{In}_{1-a}\text{Ga}_a\text{Al}_{1-a}\text{N}$ ($0 \leq a < 1$) 層を含む多重量子井戸構造である請求項15～17のうちのいずれか1に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項19】 前記p型低濃度ドーブ層は、互いに組成の異なる2つの層が積層されてなる多層膜である請求項15～18のうちのいずれか1項に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項20】 前記第1p型層がAlを含む請求項15～19のうちのいずれか1項に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項21】 前記第1p型層が、Alを含む第1の窒化物半導体層と、該第1の窒化物半導体層と異なる組成を有する第2の窒化物半導体層とが積層されてなり、かつ該第1の窒化物半導体層及び第2の窒化物半導体層の少なくとも一方にp型不純物を含んでいるp型の多層膜層である請求項20記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項22】 前記p型低濃度ドーブ層がGaNからなる請求項20又は21に記載の窒化物半導体素子。

【請求項23】 前記p型低濃度ドーブ層が $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ ($0 < s < 0.5$) からなり、該p型低濃度ドーブ層のAl組成比が、前記p型の多層膜層の平均のAl組成比より小さい請求項20又は21に記載の窒化物半導体素子。

【請求項24】 前記p型低濃度ドーブ層が $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ ($0 < s < 0.5$) 層を含んでなる多層膜であって、前記p型低濃度ドーブ層の平均のAl組成比が、前記p型の多層膜層の平均のAl組成比より小さい請求項20又は21に記載の窒化物半導体素子。

【請求項25】 前記p型低濃度ドーブ層が、 $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ ($0 < s < 0.5$) 層とGaN層とが積層されてなる請求項24記載の窒化物半導体素子。

【請求項26】 前記n型窒化物半導体層は、アンドープの窒化物半導体からなる下層、n型不純物がドーブされている窒化物半導体からなる中間層、及びアンドープの窒化物半導体からなる上層の少なくとも3層が順に積層されてなるn型第1多層膜層を有することを特徴とする請求項15～25のうちのいずれか1つに記載の窒化物半導体素子。

【請求項27】 前記n型窒化物半導体層はn型不純物

4

を含有するn型コンタクト層を有し、該n型コンタクト層と前記基板の間にアンドープGaN層が形成されていることを特徴とする請求項15～26のうちのいずれか1つに記載の窒化物半導体素子。

【請求項28】 前記n型第1多層膜層が、前記n型コンタクト層上に形成されており、更に前記アンドープGaN層、n型コンタクト層、及びn型第1多層膜層の合計の膜厚が、 $2 \sim 20 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項27に記載の窒化物半導体素子。

10 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、発光ダイオード(LED)、レーザダイオード(LD)、太陽電池、光センサー等の発光素子、受光素子、あるいはトランジスタ、パワーデバイス等の電子デバイスに使用される窒化物半導体(例えば、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$, $0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$) 素子に関する。

【0002】

【従来の技術】窒化物半導体は高輝度青色LED、純緑色LEDの材料として、フルカラーLEDディスプレイ、交通信号灯、イメージスキャナー光源等の各種光源で実用化されている。これらのLED素子は基本構造として、サファイア基板上にGaNよりなるバッファ層と、SiドーブGaNよりなるn側コンタクト層と、単一量子井戸構造(SQW: Single-Quantum-Well)の InGaN 、あるいは InGaN を有する多重量子井戸構造(MQW: Multi-Quantum-Well)の活性層と、MgドーブAlGaNよりなるp側クラッド層と、MgドーブGaNよりなるp側コンタクト層とが順に積層された構造を有しており、20mAにおいて、発光波長450nmの青色LEDで5mW、外部量子効率9.1%、520nmの緑色LEDで3mW、外部量子効率6.3%と非常に優れた特性を示す。多重量子井戸構造は、複数のミニバンドからなる構造を有し、効率よく、小さな電流でも発光を実現することができるから、単一量子井戸構造より発光出力が高くなる等の素子特性の向上が期待される。例えば、多重量子井戸構造の活性層を用いたLED素子として、特開平10-135514号公報には、発光効率及び発光光度を良好とするため、少なくともアンドープのGaNからなるバリア層、アンドープの InGaN からなる井戸層からなる多重量子井戸構造の発光層、更に発光層のバリア層よりも広いバンドギャップを持つクラッド層を有する窒化物半導体素子が開示されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来の素子は、照明用光源、直射日光の当たる屋外ディスプレイ等に使用するLED素子として発光出力が十分満足できるものでない。また、多重量子井戸構造の活性層を備えた発光素子は、発光出力の飛躍的な向上が期待される

5

が、その期待どおりの発光出力が得られる素子はまだなかった。また、窒化物半導体からなる素子は、その構造上、人体に生じる静電気より遙かに弱い100Vの電圧でも特性が劣化する可能性がある。従って、帯電防止処理された袋等から取り出す際、また製品に応用する際等において発生する静電気により特性が劣化する危険性がある。窒化物半導体素子の信頼性をより高めるために、静電耐圧を向上させ静電気による劣化の危険性をなくすることが望まれる。

【0004】そこで、本発明の第1の目的は、多重量子井戸構造の活性層を用いた素子の種々の応用製品への適用範囲のさらなる拡大を可能とするために、発光出力をより向上させることができかつ、静電耐圧が良好な窒化物半導体発光素子を提供することにある。また、本発明の第2の目的は、静電耐圧が良好な窒化物半導体発光素子を提供することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明は、下記(1)～(12)に示す第1の窒化物半導体素子により本発明の第1の目的を達成することができる。

(1) 基板上にn型窒化物半導体層を介して活性層を備えた窒化物半導体素子において、前記活性層が、 $\text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 \leq a < 1$) を含んでなる多重量子井戸構造でありかつ、該活性層上に、Alを含む第1の窒化物半導体層と、該第1の窒化物半導体層と異なる組成を有する第2の窒化物半導体層とが積層されてなり、さらに該第1の窒化物半導体層及び第2の窒化物半導体層の少なくとも一方にp型不純物を含有してなるp型多層膜層と、該p型多層膜層上に、前記p型多層膜層のp型不純物濃度より低濃度でp型不純物を含有するp型低濃度ドーブ層と、該p型低濃度ドーブ層上に、前記p型多層膜層及びp型低濃度ドーブ層のp型不純物濃度より、高濃度でp型不純物を含有するp型コンタクト層とを有することを特徴とする窒化物半導体素子。

(2) 前記p型低濃度ドーブ層が $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ ($0 < s < 0.5$) からなり、さらにp型低濃度ドーブ層のAl組成比が、前記p型多層膜層の平均のAl組成比より小さいことを特徴とする(1)に記載の窒化物半導体素子。

(3) 前記p型低濃度ドーブ層が $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ ($0 < s < 0.5$) を含んでなる多層構造であり、さらにp型低濃度ドーブ層の平均のAl組成比が、前記p型多層膜層の平均のAl組成比より小さいことを特徴とする(1)に記載の窒化物半導体素子。

(4) 基板上に、n型窒化物半導体層を介して形成された活性層を備えた窒化物半導体素子において、前記活性層が、 $\text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 \leq a < 1$) を含んでなる多重量子井戸構造でありかつ、該活性層上に、 $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 \leq b \leq 1$) を含んでなりp型不純物を含有するp型単一膜層と、該p型単一膜層上に、前記p型単一

6

膜層のp型不純物濃度より、低濃度でp型不純物を含有するp型低濃度ドーブ層と、該p型低濃度ドーブ層上に、前記p型単一膜層及びp型低濃度ドーブ層のp型不純物濃度より、高濃度でp型不純物を含有するp型コンタクト層とを有することを特徴とする窒化物半導体素子。

(5) 前記p型低濃度ドーブ層が $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ ($0 < s < 0.5$) からなり、さらにp型低濃度ドーブ層のAl組成比が、前記p型単一膜層のAl組成比より小さいことを特徴とする(4)に記載の窒化物半導体素子。

(6) 前記p型低濃度ドーブ層が $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ ($0 < s < 0.5$) を含んでなる多層構造であり、さらにp型低濃度ドーブ層のAl組成比が、前記p型単一膜層のAl組成比より小さいことを特徴とする(4)に記載の窒化物半導体素子。

(7) 前記p型低濃度ドーブ層中のp型不純物が、前記p型多層膜層と前記p型コンタクト層とから拡散により含有されたもの、又は前記p型単一膜層とp型コンタクト層とから拡散により含有されたものであることを特徴とする(1)～(6)に記載の窒化物半導体素子。

(8) 前記p型多層膜層のp型不純物濃度が、 $5 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ であることを特徴とする

(1)～(3)及び(7)のいずれかに記載の窒化物半導体素子。

(9) 前記p型単一膜層のp型不純物濃度が、 $5 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ であることを特徴とする

(4)～(7)のいずれかに記載の窒化物半導体素子。

(10) 前記p型低濃度ドーブ層のp型不純物濃度が、 $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 未満であることを特徴とする

(1)～(9)のいずれかに記載の窒化物半導体素子。

(11) 前記p型コンタクト層のp型不純物濃度が、 $1 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ であることを特徴とする(1)～(10)のいずれかに記載の窒化物半導体素子。

(12) 前記n型窒化物半導体層として、アンドープの窒化物半導体からなる下層、n型不純物がドーブされている窒化物半導体からなる中間層、及びアンドープの窒化物半導体からなる上層の少なくとも3層が順に積層されてなるn型第1多層膜層を有することを特徴とする

(1)～(11)に記載の窒化物半導体素子。

(13) 前記n型第1多層膜層の基板側に、基板に向かって順に、n型不純物を含有するn型コンタクト層及びアンドープGaN層を有することを特徴とする(1)～(12)に記載の窒化物半導体素子。

(14) 前記アンドープGaN層、n型コンタクト層、及びn型第1多層膜層の合計の膜厚が、 $2 \sim 20 \mu\text{m}$ であることを特徴とする(13)に記載の窒化物半導体素子。

【0006】つまり、本発明に係る第1の窒化物半導体素子は、多重量子井戸構造の活性層上(本発明において

7

は活性層のp側を示す。)に、p型不純物の濃度がそれぞれ、中濃度ドーブのp型層(p型多層膜層又はp型単一膜層)と、低濃度ドーブのp型低濃度ドーブ層と、高濃度ドーブのp型コンタクト層を順に成長させて、素子構造のp側に特定の3種の層に渡って、p型不純物の特定の濃度変化を形成することにより、3種の層が相乗的に作用し、発光出力の向上、及び静電耐圧の向上が可能となる窒化物半導体素子を提供することを可能にするものである。ここで、前記構成において、活性層上に形成された中濃度ドーブのp型多層膜層及び中濃度ドーブのp型単一膜層は、通常、クラッド層として作用する。従って、本発明に係る第1の窒化物半導体素子において、中濃度ドーブのp型多層膜層及び中濃度ドーブのp型単一膜層を単にp型クラッド層として説明するが、本発明においては、中濃度ドーブのp型多層膜層及び中濃度ドーブのp型単一膜層はクラッド層として形成されている場合に限定されるものではない。

【0007】更に、本発明に係る第1の窒化物半導体素子において、p型低濃度ドーブ層が $Al_sGa_{1-s}N$ ($0 < s < 0.5$) からなり、さらにp型低濃度ドーブ層のAl組成比を、p型多層膜層の平均のAl組成比、又はp型単一膜層のAl組成比より小さくすると、p型低濃度ドーブ層の膜厚を薄くしても良好な発光出力と共に高い静電耐圧を得ることができるので好ましい。またp型低濃度ドーブ層の膜厚を薄くすることが可能となると、製造工程において層の成長時間の短縮が可能となる等の工程の時間短縮が可能となる。また、本発明に係る第1の窒化物半導体素子において、前記p型低濃度ドーブ層を $Al_sGa_{1-s}N$ ($0 < s < 0.5$) 層を含んでなる多層構造としてもよく、その場合は、p型低濃度ドーブ層の平均のAl組成比が、前記p型多層膜層の平均のAl組成比より小さくなるように設定する。

【0008】更に、本発明に係る第1の窒化物半導体素子において、前記p型クラッド層(p型多層膜層又はp型単一膜層)と前記p型コンタクト層とから、p型不純物をp型低濃度ドーブ層中に拡散させることによりp型低濃度ドーブ層中にp型不純物を含有させるようにしてもよい。このようにすると、p型低濃度ドーブ層のp型不純物濃度を、p型クラッド層及びp型コンタクト層より低濃度に容易に調整することができるので好ましく、発光出力及び静電耐圧を容易に向上させることができる。また、本発明に係る第1の窒化物半導体素子において、p型多層膜層若しくはp型単一膜層、p型低濃度ドーブ層、及びp型コンタクト層の各p型不純物の濃度は、効果的に発光出力及び静電耐圧を向上させるために、それら3つの層における相互の濃度関係(p型多層膜層又はp型単一膜層が中濃度であり、p型低濃度ドーブ層が低濃度であり、p型コンタクト層が高濃度であるという相互の関係)を満足した上でさらに以下のような不純物濃度範囲に設定することが好ましい。すなわち、

8

本発明に係る第1の窒化物半導体素子において、p型クラッド層(多層膜層及び単一膜層)のp型不純物濃度は、 $5 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ に設定することが好ましく、これにより発光出力及び静電耐圧を効果的に向上させることができかつ隣接するp型低濃度ドーブ層の濃度の調整を良好に行うことができる。尚、ここでいうp型不純物濃度は、多層膜からなるp型多層膜層の場合、多層膜を構成している各層の平均の濃度をいう。また、本発明に係る第1の窒化物半導体素子において、効果的に発光出力及び静電耐圧を向上させるためにp型低濃度ドーブ層のp型不純物濃度を、 $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 未満に設定することが好ましい。また更に、本発明に係る第1の窒化物半導体素子において、p型コンタクト層のp型不純物濃度は、 $1 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ であることが好ましく、効果的に発光出力及び静電耐圧を向上させることができる。

【0009】また、本発明に係る第1の窒化物半導体素子において、前記p型クラッド層、p型低濃度ドーブ層、及びp型コンタクト層の各p型不純物濃度において、その関係が中濃度、低濃度、高濃度となるように前記範囲で適宜選択され調整されるものである。ここで、本発明に係る第1の窒化物半導体素子において、中濃度、低濃度、高濃度とは、p型クラッド層と、p型低濃度ドーブ層と、p型コンタクト層の3層間でのp型不純物濃度の関係を示すものである。

【0010】また更に、本発明に係る第1の窒化物半導体素子において、n型窒化物半導体層として、アンドーブの窒化物半導体からなる下層、n型不純物がドーブされている窒化物半導体からなる中間層、及びアンドーブの窒化物半導体からなる上層の少なくとも3層が順に積層されてなるn型第1多層膜層を有することが好ましく、このようにするとp側の前記の層との組み合わせによりさらに静電耐圧を向上させることができる。また更に、本発明に係る第1の窒化物半導体素子において、n型第1多層膜層と基板との間に、基板側から順に、n型不純物を含有するn型コンタクト層及びアンドーブGaN層を形成することが好ましく、これによりさらに静電耐圧を向上させることができる。また更に、本発明に係る第1の窒化物半導体素子において、アンドーブGaN層、n型コンタクト層、及びn型第1多層膜層の合計の膜厚は、静電耐圧をより向上させるために、好ましくは $2 \sim 20 \mu\text{m}$ 、より好ましくは $3 \sim 10 \mu\text{m}$ 、よりいっそう好ましくは $4 \sim 9 \mu\text{m}$ に設定する。また前記範囲の膜厚に設定すると、静電耐圧以外の他の素子特性も良好にできる。また、前記3層の合計の膜厚は、以下の実施の形態において記載する各層の好ましい膜厚の範囲内で、3層の合計の膜厚が前記範囲となるように適宜調整される。

【0011】前記のように、本発明に係る第1の窒化物半導体素子において、前記特定の3種のp型層と、更に

9

特定のn型層とを組み合わせることにより、発光出力及び静電耐圧の向上をより向上させることができ、窒化物半導体素子の信頼性を高め種々の応用製品への適用範囲の拡大を可能とすることができる。

【0012】また、本明細書において、アンドープとは、意図的に不純物をドーブしないで形成した層を示し、隣接する層からの不純物の拡散、原料又は装置からのコンタミネーションにより不純物が混入した層であっても、意図的に不純物をドーブしていない場合にはアンドープ層という。なお、拡散により混入する不純物は層内において不純物濃度に勾配がついている場合がある。

【0013】また、本明細書において、組成が異なるとは、例えば、窒化物半導体を構成する元素（例えば2元混晶や3元混晶の元素の種類）、元素の比、又はバンドギャップエネルギーなどが異なる場合が挙げられる。また、これらの値は、特定の層が多層膜から構成される場合においては、層全体の平均の値を用いて比較する。本発明の前記第1の窒化物半導体層と、第2の窒化物半導体層の組成が異なる場合の具体例としては、例えば、前記のように元素の比やバンドギャップエネルギー等が異なる場合がある。

【0014】また、本発明において、不純物濃度の測定は、種々の測定方法により測定可能であるが、例えば二次イオン質量分析（SIMS；Secondary Ion Mass Spectrometry）が挙げられる。

【0015】また、本発明の第2の目的を達成するために、本発明に係る第2の窒化物半導体発光素子は、基板上にn型窒化物半導体層を介して形成された量子井戸構造の活性層と、p型窒化物半導体からなり前記活性層上に形成された第1p型層と、p型窒化物半導体からなり前記第1p型層上に形成されたp型コンタクト層とを備えた窒化物半導体素子において、前記p型コンタクト層と前記第1p型層との間にさらにp型低濃度ドーブ層を備え、該p型低濃度ドーブ層のp型不純物濃度は前記p型コンタクト層及び前記第1p型層から厚さ方向に離れるに従ってそれぞれ減少する濃度分布を有し、その濃度分布における最小p型不純物濃度は $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 未満であることを特徴とする。このように本発明に係る第2の窒化物半導体素子では、前記p型コンタクト層と前記第1p型層との間にさらに前記p型低濃度ドーブ層を備えているので、静電耐圧を向上させることができる。

【0016】また、本発明に係る第2の窒化物半導体素子において、前記p型低濃度ドーブ層は前記p型コンタクト層と前記第1p型層の間にアンドープ窒化物半導体層として形成して、前記濃度分布を前記p型コンタクト層及び前記第1p型層からp型不純物を拡散させることにより形成することができる。

【0017】また、本発明に係る第2の窒化物半導体素子において、前記アンドープ窒化物半導体層の膜厚を、

10

前記ボトム領域のp型不純物濃度が $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 未満になるように設定するようにしてもよい。

【0018】また、本発明に係る第2の窒化物半導体素子において、前記活性層を、少なくとも1つの $\text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 \leq a < 1$) 層を含む多重量子井戸構造とすることができ、このようにすると、静電耐圧を向上させることができることに加え、発光出力を向上させることができ、多重量子井戸構造の活性層を用いた窒化物半導体素子の種々の応用製品への適用範囲を拡大することができる。

【0019】さらに、本発明に係る第2の窒化物半導体素子では、前記p型低濃度ドーブ層を、互いに組成の異なる2つの層が積層されてなる多層膜としてもよい。

【0020】さらに、本発明に係る第2の窒化物半導体素子において、前記第1p型層がAlを含んでいてもよく、これにより前記第1p型層をバンドギャップの広い層とできる。

【0021】またさらに、本発明に係る第2の窒化物半導体素子において、前記第1p型層は、Alを含む第1の窒化物半導体層と、該第1の窒化物半導体層と異なる組成を有する第2の窒化物半導体層とが積層されてなりかつ該第1の窒化物半導体層及び第2の窒化物半導体層の少なくとも一方にp型不純物を含んでいるp型の多層膜層であってもよい。

【0022】また、本発明に係る第2の窒化物半導体素子において、前記p型低濃度ドーブ層の結晶性を良くするために、前記p型低濃度ドーブ層がGaNからなることが好ましく、これによって、静電耐圧特性をより向上させることができる。

【0023】また、本発明に係る第2の窒化物半導体素子において、前記p型低濃度ドーブ層を $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ ($0 < s < 0.5$) としかつ、該p型低濃度ドーブ層のAl組成比を、前記p型多層膜層の平均のAl組成比より小さく設定するようにしてもよい。

【0024】また、本発明に係る第2の窒化物半導体素子において、前記p型低濃度ドーブ層を $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ ($0 < s < 0.5$) 層を含んでなる多層膜とし、該p型低濃度ドーブ層の平均のAl組成比を、前記p型多層膜層の平均のAl組成比より小さく設定するようにしてもよい。また、前記p型低濃度ドーブ層を多層膜とする場合、 $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ ($0 < s < 0.5$) 層とGaN層とを積層することにより構成することが好ましい。

【0025】またさらに、本発明に係る第2の窒化物半導体素子において、前記n型窒化物半導体層は、アンドープの窒化物半導体からなる下層、n型不純物がドーブされている窒化物半導体からなる中間層、及びアンドープの窒化物半導体からなる上層の少なくとも3層が順に積層されてなるn型第1多層膜層を有することが好ましく、このようにすると、より静電耐圧を高くできる。

【0026】また、本発明に係る第2の窒化物半導体素

11

子において、前記n型窒化物半導体層はn型不純物を含有するn型コンタクト層を有し、該n型コンタクト層と前記基板の間にアンドープGaN層が形成されていることが好ましい。

【0027】また、本発明に係る第2の窒化物半導体素子において、前記n型第1多層膜層が、前記n型コンタクト層上に形成されており、更に前記アンドープGaN層、n型コンタクト層、及びn型第1多層膜層の合計の膜厚が、より静電耐圧を高くするために、2～20 μ mであることが好ましい。

【0028】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して、本発明に係る実施の形態の窒化物半導体素子について説明する。

【0029】実施の形態1. 図1は、本発明の実施の形態1に係る窒化物半導体素子の構造を示す模式的断面図である。尚、本実施の形態1の窒化物半導体素子は、本発明の第1の窒化物半導体素子に関係した素子であるが、本発明に係る第1の窒化物半導体素子は、以下に説明する実施の形態の素子構造に限定されるものではなく、少なくとも活性層上に、前記の本発明の中濃度ドーブのp型クラッド層（p型多層膜層又はp型単一膜層）と、低濃度ドーブのp型低濃度ドーブ層と、高濃度ドーブのp型コンタクト層とを含む素子構造を有する窒化物半導体素子であれば適用することができる。本実施の形態1の窒化物半導体素子は、図1に示すように、基板1上に、バッファ層2、アンドープGaN層3、n型不純物を含むn型コンタクト層4、アンドープの下層5a、n型不純物ドーブの中間層5b及びアンドープの上層5cの3層からなるn側第1多層膜5、第3及び第4の窒化物半導体層よりなるn側第2多層膜層6、多重量子井戸構造の活性層7、p型不純物を高濃度ドーブの多層膜又は単一膜のp型クラッド層8、p型不純物を低濃度ドーブのp型低濃度ドーブ層9、p型不純物を高濃度ドーブのp型コンタクト層10が順に積層された構造を有する。更にn型コンタクト層4上にn電極12、p型コンタクト層10上にp電極11がそれぞれ形成されている。以下、本実施の形態1の窒化物半導体素子の各要素について詳細に説明する。

【0030】本発明において、基板1としては、サファイアC面、R面又はA面を主面とするサファイア、その他、スピネル（ $MgAl_2O_4$ ）のような絶縁性の基板の他、SiC（6H、4H、3Cを含む）、Si、ZnO、GaAs、GaN等の半導体基板を用いることができる。

【0031】本発明において、バッファ層2としては、一般式 $Ga_dAl_{1-d}N$ （但しdは $0 < d \leq 1$ の範囲である。）で表される窒化物半導体を用いることができるが、結晶性の良好な層とするために、Alの割合が小さい組成とすることが好ましく、より好ましくはGaNからなるバッファ層を用いる。バッファ層2の膜厚は、

12

0.002～0.5 μ mとし、窒化物半導体の結晶モフォロジーを良好とし、バッファ層2上に成長させる窒化物半導体の結晶性をより良好にするために、好ましくは0.005～0.2 μ m、更に好ましくは0.01～0.02 μ mの範囲に調整する。また、バッファ層2の成長温度は、バッファ層2を良好な多結晶として形成し、この多結晶を種結晶としてバッファ層2の上に結晶性を良好な窒化物半導体を成長させるために、200～900℃の範囲で設定することが好ましく、より好ましくは400～800℃の範囲に調整する。また、この比較的低温で成長させるバッファ層2は、用いる基板の種類、成長方法等によっては省略してもよい。

【0032】次に、本発明において、アンドープGaN層3は、成長する際にn型不純物を添加せずに成長させることにより形成する。バッファ層2上にアンドープGaN層3を成長させると結晶性の良好なアンドープGaN層3を形成することができ、そのアンドープGaN層3上に成長させるn側コンタクト層4などの結晶性も良好にできる。このアンドープGaN層3の膜厚は、0.01 μ m以上とし、好ましくは0.5 μ m以上、より好ましくは1 μ m以上とする。膜厚をこの範囲に設定すると、n側コンタクト層4及びその上に形成する層を結晶性良く成長できる。また、アンドープGaN層3の膜厚の上限は、本発明の効果をj得る上では特に限定されないが、製造効率等を考慮して適宜調整される。また、アンドープGaN層3の膜厚の上限は、そのアンドープGaN層3、n型コンタクト層4及びn側第1多層膜層5の合計の膜厚が、上述した静電耐圧を向上させることができる2～20 μ m（好ましくは3～10 μ m、さらに好ましくは4～9 μ m）範囲に調整できるように設定することが好ましい。

【0033】次に、本発明において、n型不純物を含むn型コンタクト層4は、n型不純物を $1 \times 10^{17}/cm^3$ 以上、好ましくは $3 \times 10^{18}/cm^3$ 以上、より好ましくは $5 \times 10^{18}/cm^3$ 以上の濃度で含有する。このようにn型不純物を多くドーブし、この層をn型コンタクト層とすると、Vf及び閾値を低下させることができる。不純物濃度が前記範囲を逸脱するとVfが低下しにくくなる傾向がある。また、本実施の形態1では、n型コンタクト層4がn型不純物濃度が小さい結晶性の良好なアンドープGaN層3上に形成されているので、高い濃度でn型不純物を有しているにも関わらず結晶性を良好に形成することができる。n型コンタクト層4のn型不純物濃度の上限は本発明において特に限定されるものではないが、コンタクト層としての機能を保持しうる限界としては $5 \times 10^{21}/cm^3$ 以下とすることが望ましい。

【0034】n型コンタクト層4は、一般式 $In_eAl_fGa_{1-e-f}N$ （ $0 \leq e$ 、 $0 \leq f$ 、 $e + f \leq 1$ ）で表される材料で構成できるが、結晶欠陥の少ない窒化物半導体

10

20

30

40

50

13

層を得るために、Ga_{1-f}N又はf値0.2以下のAl_{1-f}Ga_fNとすることが好ましい。また、n型コンタクト層4の膜厚は、n電極を形成する層であるので、抵抗値を低くし発光素子のV_fを低くするために、好ましくは0.1~20μm、より好ましくは1~10μmとする。また、n型コンタクト層4の膜厚の上限は、そのアンドープGa_{1-f}N層3、n型コンタクト層4及びn側第1多層膜層5の合計の膜厚が、上述した静電耐圧を向上させることができる2~20μm（好ましくは3~10μm、さらに好ましくは4~9μm）範囲に調整できるように設定することが好ましい。また、n型コンタクト層4は、後述のn側第1多層膜層5を比較的厚く形成することにより、省略することもできる。

【0035】次に、本実施の形態1において、n側第1多層膜層5は、基板側から、アンドープの下層5a、n型不純物ドーブの中間層5b、アンドープの上層5cの3層から構成されている。尚、本発明においては、n側第1多層膜層には前記下層5a~上層5c以外のその他の層を含んでいてもよい。またn側第1多層膜層5は、活性層と接していても、活性層の間に他の層を有していてもよい。本実施の形態1のように、n側にこのn側第1多層膜層5を形成すると、発光出力と共に静電耐圧を向上させることができる。このn側第1多層膜層5は、比較的大きく静電耐圧の向上に関与していると思われる。これら下層5a~上層5cを構成する窒化物半導体としては、In_gAl_{1-h}Ga_{1-g-h}N（0≤g<1、0≤h<1）で表される種々の組成の窒化物半導体を用いることができるが、好ましくはGa_{1-f}Nを用いて構成する。また、第1多層膜層5の各層は、組成が互いに同一でも異なってもよい。

【0036】本発明において、n側第1多層膜層5の膜厚は、V_fを最適化し静電耐圧を向上させるために、好ましくは175~12000オングストロームとし、より好ましくは1000~10000オングストロームとし、よりいっそう好ましくは2000~6000オングストロームとする。更に、n側第1多層膜層5の膜厚を前記範囲に設定し、そのn側第1多層膜層5とアンドープGa_{1-f}N層3及びn型コンタクト層4の合計の膜厚を、上述した静電耐圧を向上させることができる2~20μm（好ましくは3~10μm、さらに好ましくは4~9μm）範囲に調整できるように設定することが好ましい。第1多層膜層5の膜厚は、下層5a、中間層5b、及び上層5cの各膜厚を適宜調整することにより、総膜厚を前記の範囲とすることができる。

【0037】n側第1多層膜層5を構成する下層5a、中間層5b及び上層5cの各膜厚は、本発明の構成上、特に限定されるものではないが、n側第1多層膜層5中で積層される位置により素子性能の諸特性に与える影響度合いがやや異なるため、各層の素子性能に大きく関与する特性に特に注目し、いずれか2層の膜厚を固定し、

14

残りの1層の膜厚を段階的に変化させて、特性の良好な範囲の膜厚を測定し、更にn側第1多層膜層5の各層との調整により膜厚の範囲を特定している。n側第1多層膜層5の各層は、各々単独では静電耐圧に直接影響を及ぼさない場合もあるが、各層を組み合わせてn側第1多層膜層5とすることにより、全体として種々の素子特性が良好にできる。とりわけ、各層を組み合わせてn側第1多層膜層5とすることにより、発光出力及び静電耐圧を著しく向上させることができる。このような作用効果は、実際に、n側多層膜層5の各層を積層させて、素子を製造して初めて得られるものといえる。各層の膜厚について以下に具体的に示すと共に、膜厚の変化させることによる素子特性の変化の傾向について概略を示す。

【0038】アンドープの下層5aの膜厚は、100~10000オングストローム、好ましくは500~8000オングストローム、より好ましくは1000~5000オングストロームとする。アンドープの下層5aは、膜厚を徐々に厚くしていくと静電耐圧が上昇していくが、10000オングストローム付近でV_fが急上昇し、一方膜厚を薄くしていくと、V_fは低下していくが、静電耐圧の低下が大きくなり、100オングストローム未満では静電耐圧の低下に伴い歩留まりの低下が大きくなる傾向が見られる。また、下層5aは、n型不純物を含むn側コンタクト層4の結晶性の低下による影響を改善する機能を有していると考えられるので、結晶性を改善する機能を効果的に発揮させる観点からは、500~8000オングストローム程度の膜厚で成長させることが好ましい。

【0039】n型不純物ドーブの中間層5bの膜厚は、50~1000オングストローム、好ましくは100~500オングストローム、より好ましくは150~400オングストロームとする。この不純物がドーブされた中間層5bは、キャリア濃度を十分高くして発光出力を比較的大きくする機能を有する層であり、この層を形成しない発光素子は、形成した発光素子に比べて発光出力が低下する。また、膜厚が1000オングストロームを超えると逆に発光出力が低下する。一方、静電耐圧のみを考慮すると、中間層5bの膜厚が厚いと静電耐圧は良好にできるが、逆に膜厚が50オングストローム未満になると、膜厚が50オングストローム以上の場合に比べて、静電耐圧が低下する。

【0040】アンドープの上層5cの膜厚は、25~1000オングストローム、好ましくは25~500オングストローム、より好ましくは25~150オングストロームとする。このアンドープの上層5cは、第1多層膜の中で活性層に接して、あるいは最も接近して形成され、リーク電流の防止に大きく関与する層であるが、上層5cの膜厚が25オングストローム未満ではリーク電流の増加を効果的に防止することができない。また、上層5cの膜厚が1000オングストロームを超えるとV

15

fが上昇し静電耐圧も低下する。

【0041】以上のように、下層5a～上層5cの各膜厚は、各層の膜厚の変動により影響されやすい素子特性に注目し、更に、下層5a、中間層5b及び上層5cを組み合わせた際の諸素子特性すべてバランス良く良好となり、特に発光出力及び静電耐圧が良好となるように設定する。また、前記範囲に下層5a～上層5cの各膜厚を設定し、前記の本発明のp側に形成されたp型不純物濃度の異なる3種の層と組み合わせて適宜設定することにより、良好な発光出力及び商品の信頼性の向上が達成することができ、静電耐圧をより良好にできる。すなわち、第1多層膜層5の各層の膜厚の組み合わせは、本発明のp型不純物濃度の異なる3種の層との関係や、発光波長に対応して変わる活性層の組成、電極、LED素子の形状など種々の要求仕様による条件等を考慮して、最も良好な効果が得られるように最適化される。

【0042】前記第1多層膜層5を構成する各層の組成は、 $\text{In}_g\text{Al}_h\text{Ga}_{1-g-h}\text{N}$ ($0 \leq g < 1$, $0 \leq h < 1$) で表される組成で構成することができ、各層の組成が同一でも異なってもよい。しかしながら、本発明において、第1多層膜層5を構成する各層は、In及びAlの割合が小さい組成とすることが好ましく、結晶性を良好にし、Vfを低下させるためにより好ましくはGaNまたは $\text{Al}_h\text{Ga}_{1-h}\text{N}$ 、さらに好ましくはGaNからなる層とする。n側第1多層膜層5を、 $\text{Al}_h\text{Ga}_{1-h}\text{N}$ とする場合、 $0 \leq h < 1$ の範囲で適宜調整することができるが、Al組成比を小さくする方が結晶性を良くでき及びVfを低下させることができるので好ましい。

【0043】前記第1多層膜層5の中間層5bにおけるn型不純物のドーピング量は、好ましくは、 $3 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以上とし、より好ましくは $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以上の濃度とする。n型不純物の上限は、 $5 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ 以下が望ましく、この上限値以下であると比較的結晶性の良好な層とでき、発光出力を低下させることなくVfを低くできる。また、n型不純物としてはSi、Ge、Se、S、O等の周期律表第IVB族、第VIB族元素を選択し、好ましくはSi、Ge、Sをn型不純物として選択される。

【0044】また、前記第1多層膜層5の上に活性層を形成する場合において、その第1多層膜層5のうちの活性層と接する上層5cを、例えば、GaNを用いて形成することにより、活性層に対して障壁層として機能させることができる。すなわち、前記第1多層膜層5のうち、他の層と接する下層5aまたは上層5cは、第1多層膜の一部としての役割の他、それと接する他の層との関連で他の役割を果たすように構成することもできる。

【0045】また、本発明では、前記n側第1多層膜層5に変えて、多層構造ではない単一のアンドープ層を形成してもよい。この単一アンドープ層は一般式 $\text{In}_g\text{Al}_h\text{Ga}_{1-g-h}\text{N}$ ($0 \leq g < 1$, $0 \leq h < 1$) で表される

16

窒化物半導体で形成することができるが、好ましくはIn及びAlの割合が小さい組成、より好ましくは結晶性及びVfを低くするという観点からGaNまたは $\text{Al}_h\text{Ga}_{1-h}\text{N}$ とし、最も好ましくはGaNからなる単一アンドープ層とする。単一アンドープ層を $\text{Al}_h\text{Ga}_{1-h}\text{N}$ とした場合、 $0 \leq h < 1$ の範囲で適宜調整することができるが、Al組成比が小さい方が結晶性及びVfを低くするという観点からは好ましい。このように単一アンドープ層を形成すると、n側第1多層膜層5を形成した場合に比べてやや静電耐圧は低下するが、従来例に比較すると静電耐圧は高くでき、それ以外の特性は、n側第1多層膜層5を形成した場合とほぼ同様の素子特性を得ることができる。単一アンドープ層の膜厚は、特に限定されないが、素子特性を良好とするために、1000～3000オングストロームが好ましい。

【0046】次に、本発明において、n側第2多層膜層6は、Inを含む第3の窒化物半導体層と、その第3の窒化物半導体層と異なる組成を有する第4の窒化物半導体層とを積層することにより構成する。このn側第2多層膜層6において、第3の窒化物半導体層、第4の窒化物半導体層はそれぞれ少なくとも一層以上形成し、合計で2層以上、好ましくは3層以上、さらに好ましくはそれぞれ少なくとも2層以上積層し合計で4層以上積層することが望ましい。n側第2多層膜層6において、第3の窒化物半導体層と第4の窒化物半導体層の内の少なくとも一方の膜厚は、100オングストローム以下、より好ましくは70オングストローム以下、更に好ましくは50オングストローム以下にする。尚、n側第2多層膜層6において、より好ましくは両方の膜厚を、100オングストローム以下、より好ましくは70オングストローム以下、更に好ましくは50オングストローム以下にする。このように膜厚を薄くすることにより、n側第2多層膜層6が超格子構造となって、その多層膜層の結晶性を良くできるので、出力を向上させることができる。

【0047】すなわち、第3又は第4の窒化物半導体の少なくとも一方の膜厚が、100オングストローム以下であると、その一方の薄膜層が弾性臨界膜厚以下となって結晶を良くできることから、その上に積層する他方の層である第3の窒化物半導体層、若しくは第4の窒化物半導体層の結晶性を良くでき、結果として多層膜層全体の結晶性を良くできるため、素子の出力を向上させることができる。

【0048】また、n側第2多層膜層6において、第3及び第4の窒化物半導体の膜厚を、共に100オングストローム以下とすると、第3及び第4の各窒化物半導体層の膜厚がいずれも弾性臨界膜厚以下となり、厚膜で成長させる場合や、第3又は第4の窒化物半導体の一方を100オングストローム以下とした場合に比較してより結晶性の良い窒化物半導体を成長できる。また、両方を70オングストローム以下にすると、n側第2多層膜層

17

6が超格子構造となり、さらに結晶性の良いn側第2多層膜層6を形成することができる。このn側第2多層膜層6の上に活性層を成長させると、n側第2多層膜層6がバッファ層のような作用をして、活性層をより結晶性よく成長させることができる。

【0049】以上のように、本発明に係るp型不純物濃度の異なる3種の層と、前記n側第1多層膜層と前記n側第2多層膜層とを組み合わせると、極めて発光出力が高くVfの低い発光素子を実現できる。この理由は定かではないが、n側第2多層膜層上に成長させる活性層の結晶性が良好となるためと考えられる。

【0050】また、n側第2多層膜層6では、第4の窒化物半導体層を間に挟んで隣り合う2つの第3の窒化物半導体層間において、それぞれの膜厚は、互いに異なっても、同一であってもよい。また、n側第2多層膜層6では、第3の窒化物半導体層を間に挟んで隣り合う2つの第4の窒化物半導体層間において、それぞれの膜厚は、互いに異なっても、同一であってもよい。例えば、第3の窒化物半導体層をInGa_Nとし、第4の窒化物半導体層をGa_Nとした場合、InGa_Nからなる第3の窒化物半導体層の膜厚を、活性層に近づくに従って次第に厚くしたり、また薄くしたりすることにより、n側第2多層膜層6を、実効的に屈折率が次第に変化する層とすることができる。即ち、実質的に組成傾斜した窒化物半導体層を形成するのと同じ効果が得られる。このようにすると例えばレーザ素子のような光導波路を必要とする素子においては、この多層膜層で導波路を形成して、レーザ光のモードを調整することができる。

【0051】さらに、n側第2多層膜層6では、第4の窒化物半導体層を間に挟んで隣り合う2つの第3の窒化物半導体層間において、それぞれの層に含まれるIII族元素の組成比を互いに異なるようにしてもよいし、同一にしてもよい。また、第3の窒化物半導体層を間に挟んで隣り合う2つの第4の窒化物半導体層間において、それぞれの層に含まれるIII族元素の組成比を互いに異なるようにしてもよいし、同一にしてもよい。

【0052】例えば、第3の窒化物半導体層をInGa_Nとし、第4の窒化物半導体層をGa_Nとした場合、InGa_Nからなる第3の窒化物半導体層のInの組成比を、活性層に接近するに従って次第に多くしたり、また少なくしたりすることにより、実質的に組成傾斜した窒化物半導体層を形成することができ、多層膜層内部において屈折率を変化させることができる。なおIn組成比が減少するに従い、屈折率は小さくなる。

【0053】n側第2多層膜層6は、活性層と離間して形成されていても良いが、最も好ましくは活性層に接して形成されているようにする。活性層に接して形成する方がより出力を向上させることができる。n側第2多層膜層6が活性層に接して形成されている場合、活性層の最初の層（井戸層、若しくは障壁層）と接する多層膜層

18

は第3の窒化物半導体層でも、第4の窒化物半導体層いづれでも良く、n側第2多層膜層6の積層順序は特に問うものではない。なお、図1ではn側第2多層膜層6が、活性層7に接して形成されているが、このn側第2多層膜層6と活性層との間に、他のn型窒化物半導体よりなる層を有していても良い。

【0054】第3の窒化物半導体層はInを含む窒化物半導体とし、好ましくは3元混晶のIn_kGa_{1-k}N（0<k<1）とし、さらに好ましくはk値が0.5以下のIn_kGa_{1-k}N、最も好ましくはk値が0.2以下のIn_kGa_{1-k}Nとする。一方、第4の窒化物半導体層は第3の窒化物半導体層と組成が異なる窒化物半導体であれば良く、本発明においてその組成は特に限定されるものではないが、結晶性の良い第4の窒化物半導体を成長させるためには、第3の窒化物半導体よりもバンドギャップエネルギーが大きい2元混晶あるいは3元混晶のIn_mGa_{1-m}N（0≤m<1、m<k）を成長させることが好ましく、より好ましくはGa_Nとする。第4の窒化物半導体をGa_Nとすると、全体に結晶性の良い多層膜層が成長できる。すなわち、好ましい組み合わせとしては、第3の窒化物半導体をIn_kGa_{1-k}N（0<k<1）とし、第4の窒化物半導体をIn_mGa_{1-m}N（0≤m<1、m<k）、好ましくはGa_Nとする組み合わせが挙げられる。更に好ましい組み合わせとしては、第3の窒化物半導体層のk値が0.5以下のIn_kGa_{1-k}Nとし、第4の窒化物半導体層をGa_Nとする。

【0055】第3および第4の窒化物半導体層は両方ともアンドープとしてもよいし、両方にn型不純物がドーピング（変調ドーピング）されていてもよい。結晶性を良くするためには、両方がアンドープであることが最も好ましく、次に変調ドーピング、その次に両方ドーピングの順である。なお両方にn型不純物をドーピングする場合、第3の窒化物半導体層のn型不純物濃度と、第4の窒化物半導体層のn型不純物濃度は異なってもよい。また、第3の窒化物半導体層または第4の窒化物半導体層のいずれか一方に、n型不純物がドーピングされていることを変調ドーピングと呼ぶが、このような変調ドーピングをすることにより、出力を高くすることができる。

【0056】なおn型不純物としては、Si、Ge、S_n、S等のIV族、VI族元素を選択することが好ましく、さらに好ましくはSi、S_nを用いる。n型不純物をドーピングする場合、不純物濃度は5×10²¹/cm³以下、好ましくは1×10²⁰/cm³以下に調整する。5×10²¹/cm³よりも多いと窒化物半導体層の結晶性が悪くなって、逆に出力が低下する傾向がある。これは変調ドーピングの場合も同様である。

【0057】本発明において、多重量子井戸構造の活性層7は、In及びGaを含有する窒化物半導体、好ましくは、In_aGa_{1-a}N（0≤a<1）で形成される。ま

19

た、活性層7は、n型、p型いずれでもよいが、アンドープ（不純物無添加）とすることが好ましく、これにより強いバンド間発光が得られ発光波長の半値幅を狭くすることができる。活性層7には、n型不純物又はp型不純物の一方だけをドーピングしてもよく、n型不純物及びp型不純物の双方をドーピングするようにしてもよい。この場合、活性層7にn型不純物をドーピングするとアンドープのものに比べてバンド間発光強度をさらに強くすることができる。活性層7にp型不純物をドーピングするとバンド間発光のピーク波長よりも約0.5 eV低いエネルギー側にピーク波長をシフトさせることができるが、半値幅は広がる。活性層にp型不純物とn型不純物との双方をドーピングすると、前述したp型不純物のみドーピングした活性層の発光強度をさらに大きくすることができる。特にp型ドーパントをドーピングした活性層を形成する場合、活性層の導電性はSi等のn型ドーパントをもドーピングして全体をn型とすることが好ましい。結晶性のよい活性層を成長させるには、ノンドープが最も好ましい。尚、本実施の形態1において、活性層7を単一量子井戸構造とした場合においても、多重量子井戸構造とした場合と比較して発光出力はやや低くなるものの、静電耐圧は同等の良好な特性が得られる。

【0058】活性層7の障壁層と井戸層との積層順は、井戸層から積層して井戸層で終わる、井戸層から積層して障壁層で終わる、障壁層から積層して障壁層で終わる、また障壁層から積層して井戸層で終わっても良い。井戸層の膜厚としては100オングストローム以下、好ましくは70オングストローム以下、さらに好ましくは50オングストローム以下に調整する。井戸層の膜厚の下限は、特に限定されないが、1原子層以上、好ましくは10オングストローム以上とする。井戸層が100オングストロームよりも厚いと、出力が向上しにくい傾向にある。一方、障壁層の厚さは2000オングストローム以下、好ましくは500オングストローム以下、より好ましくは300オングストローム以下に調整する。障壁層の膜厚の下限は特に限定されないが、1原子層以上、好ましくは10オングストローム以上とする。障壁層の膜厚を前記範囲とすると出力を向上させることができる。また、活性層7全体の膜厚はとくに限定されるものではなく、LED素子などの希望の波長等を考慮して、障壁層及び井戸層の各積層数や積層順を調整し活性層7の総膜厚を設定することができる。

【0059】本発明において、p型クラッド層8は、p型低濃度ドーピング層9とp型コンタクト層10との中間の濃度（中濃度ドーピング）となるように、p型不純物を含有してなる多層膜又は単一膜で構成される。まず、p型クラッド層8が多層膜構造（超格子構造）とした場合（p型多層膜層）について以下に説明する。以下多層膜からなるp型クラッド層を多層膜p型クラッド層という。多層膜p型クラッド層を構成する多層膜としては、Alを

20

含む第1の窒化物半導体層と、その第1の窒化物半導体層と組成の異なる第2の窒化物半導体層とが積層され、さらに第1の窒化物半導体層及び第2の窒化物半導体層の少なくとも一方にp型不純物を含有したものが挙げられる。以下、第1の窒化物半導体層と第2の窒化物半導体層との組成が異なることを、バンドギャップエネルギーが異なるとして説明する。本発明において、多層膜p型クラッド層8は、バンドギャップエネルギーの大きな第1の窒化物半導体層と、第1の窒化物半導体層よりもバンドギャップエネルギーの小さな第2の窒化物半導体層とが積層されてなる層を用いることができる。第1の窒化物半導体層及び第2の窒化物半導体層の少なくとも一方にp型不純物を含有させ、これら第1の窒化物半導体層と第2の窒化物半導体層のp型不純物濃度は、異なっても同一であってもよい。

【0060】多層膜p型クラッド層8の多層膜を構成する第1、第2の窒化物半導体層の膜厚は、100オングストローム以下、さらに好ましくは70オングストローム以下、最も好ましくは10～40オングストロームの膜厚に調整され、第1窒化物半導体層と第2の窒化物半導体層との膜厚は、同一でも異なってもよい。多層膜構造の各膜厚が前記範囲に設定すると、窒化物半導体の弾性臨界膜厚以下となり、厚膜で成長させる場合に比較して結晶性の良い窒化物半導体が成長でき、また窒化物半導体層の結晶性を良くできる。これによって、p型不純物を添加した場合にキャリア濃度が大きく抵抗率の小さいp層が得られ、素子のVf、しきい値を低下させることができる。このような膜厚の2種類の層を1ペアとして複数回積層して多層膜層を形成する。また、一方の層を他方の層より1層多く積層してもよく、例えば、第1の窒化物半導体層から積層し、第1の窒化物半導体層で終わってもよい。そして、多層膜p型クラッド層8の総膜厚の調整は、この第1及び第2の窒化物半導体層の各膜厚を調整し積層回数を調整することにより行う。多層膜p型クラッド層8の総膜厚は、特に限定されないが、2000オングストローム以下、好ましくは1000オングストローム以下、より好ましくは500オングストローム以下であり、総膜厚がこの範囲とすると発光出力を高くでき、Vfを低下させることができる。第1の窒化物半導体層は少なくともAlを含む窒化物半導体、好ましくは $Al_nGa_{1-n}N$ ($0 < n \leq 1$) を成長させることが望ましく、第2の窒化物半導体は好ましくは $Al_pGa_{1-p}N$ ($0 \leq p < 1, n > p$)、 $In_rGa_{1-r}N$ ($0 \leq r \leq 1$) のような2元混晶、3元混晶の窒化物半導体を成長させることが望ましい。p型クラッド層8を、このような第1の窒化物半導体層及び第2の窒化物半導体層からなる多層膜層とした場合、p型多層膜層のAl組成比というときは、平均の値を示すものとする。また、後述のp型低濃度ドーピング層9を $Al_sGa_{1-s}N$ ($0 < s < 0.5$) よりなる層とした場合又は Al_sG

21

$a_{1-s}N$ ($0 < s < 0.5$) 層を含む多層構造とした場合は、多層膜 p 型クラッド層の Al 組成比は、p 型低濃度ドープ層 9 の Al 組成比より、高くなるように調整されることが、高発光出力とともに良好な静電耐圧等を得る点で好ましい。さらに、p 型クラッド層 8 を超格子構造とすると、結晶性を良くでき、抵抗率を低くできるので、 V_f を低くすることができる。

【0061】中濃度ドープの多層膜 p 型クラッド層 8 の p 型不純物濃度について以下に説明する。多層膜 p 型クラッド層を構成する第 1 の窒化物半導体層と第 2 の窒化物半導体層の p 型不純物濃度は、異なっても、同一でもよい。まず異なる場合について以下に示す。多層膜 p 型クラッド層 8 における第 1 の窒化物半導体層と第 2 の窒化物半導体層の p 型不純物濃度が異なる場合、すなわち、一方の層の不純物濃度を高く、もう一方の層の不純物濃度を低くする場合、例えば、バンドギャップエネルギーの大きな第 1 の窒化物半導体層の方の p 型不純物濃度を高くして、バンドギャップエネルギーの小さな第 2 の窒化物半導体層の p 型不純物濃度を低くする。または、その逆に、バンドギャップエネルギーの大きな第 1 の窒化物半導体層の p 型不純物濃度を低くして、バンドギャップエネルギーの小さな第 2 の窒化物半導体層の p 型不純物濃度を高くする。このように p 型不純物濃度の異なる第 1 の窒化物半導体層と第 2 の窒化物半導体層とを形成すると、閾値電圧や V_f 等を低下させることができる。この理由は、不純物濃度を高くしたキャリア濃度の高い層と、不純物濃度を低くした移動度の高い層とを同時に多層膜 p 型クラッド層に存在させることによりキャリア濃度の高い層のキャリアを移動度の高い層で移動させることができるので、その多層膜の抵抗を低くでき、前記のように閾値電圧や V_f 等を低下させることができるものと考えられる。尚、このように p 型不純物濃度の異なる第 1 の窒化物半導体層と第 2 の窒化物半導体層とを形成する場合、不純物濃度を低くした層は、アンドープとすることが好ましく、これによつてさらに閾値電圧、 V_f (順方向電圧) 等を低下させることができる。

【0062】第 1 と第 2 の窒化物半導体層の p 型不純物濃度が異なる場合における第 1 の窒化物半導体層の p 型不純物の濃度は、多層膜全体としての平均の p 型不純物濃度が低濃度ドープ層 9 より高く p 型コンタクト層 10 より低くなるように調整された値になるようにすればよい。具体的な第 1 の窒化物半導体層の p 型不純物濃度としては、好ましくは $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 、より好ましくは $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ の範囲で調整する。第 1 の窒化物半導体層の p 型不純物濃度が $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上であると、活性層へのキャリアの注入効率が良好となり、発光出力が向上し、 V_f が低下する傾向にあり、また $1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 以下であると、結晶性を良好とし易くなる傾向にあ

22

る。

【0063】一方、第 1 の窒化物半導体層と第 2 の窒化物半導体層の p 型不純物濃度が異なる場合の第 2 の窒化物半導体層の p 型不純物濃度としては、第 1 の窒化物半導体層よりも少なく、p 型クラッド層全体として p 型低濃度ドープ層 9 と p 型コンタクト層 10 との不純物濃度の中間の濃度を示すように調整することが好ましい。具体的な第 2 の窒化物半導体層の p 型不純物濃度としては、特に限定されないが、好ましくは前記第 1 の窒化物半導体層の p 型不純物濃度の $1/10$ 以下が望ましく、より好ましくはアンドープとすると最も移動度の高い層が得られる。しかし、第 2 の窒化物半導体層の膜厚が薄いため、第 1 の窒化物半導体側から拡散してくる p 型不純物があり、第 2 の窒化物半導体層の移動度を考慮する場合は、拡散してくる p 型不純物の量は $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 以下が望ましい。また、バンドギャップエネルギーが大きい第 1 の窒化物半導体層に p 型不純物を少なくドープして、バンドギャップエネルギーが小さい第 2 の窒化物半導体層に p 型不純物を多くドープする場合も同様である。

【0064】次に、第 1 の窒化物半導体層と第 2 の窒化物半導体層の p 型不純物濃度が同一の場合の p 型不純物の濃度について以下に示す。この場合の第 1 の窒化物半導体層及び第 2 の窒化物半導体層の p 型不純物濃度は、p 型低濃度ドープ層 9 と p 型コンタクト層 10 の p 型不純物濃度に対して、中濃度ドープの層となるように調整されていればよく、例えば具体的には、前記第 1 と第 2 の窒化物半導体層の p 型不純物濃度が異なる場合の第 1 の窒化物半導体層にドープされる不純物濃度と同様の範囲の値である。このように p 型不純物を第 1 と第 2 の窒化物半導体層との濃度が同一となるようにドープすると、前記の濃度が異なる場合に比べて、やや結晶性の劣る傾向があるが、キャリア濃度の高い p 型クラッド層 8 を形成し易くなり、出力を向上させるという点では好ましい。

【0065】前記 p 型クラッド層にドープされる p 型不純物としては、Mg、Zn、Ca、Be 等の周期律表第 IIA 族、IIB 族元素を選択し、好ましくは Mg、Ca 等を p 型不純物とする。

【0066】また前記の中濃度ドープの多層膜 p 型クラッド層を構成する隣接している窒化物半導体層同士 (第 1 と第 2 の窒化物半導体層) の p 型不純物濃度が異なる場合、p 型不純物が高濃度にドープされる窒化物半導体層は、厚さ方向に対し、窒化物半導体層中心部近傍の不純物濃度が大きく、両端部近傍の不純物濃度が小さい (好ましくはアンドープ) とすることが、抵抗率を低下させるのに望ましい。

【0067】次に、中濃度ドープの p 型クラッド層 8 が、p 型不純物を含む $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 \leq b \leq 1$) よりなる単一層からなる場合について以下に説明する。以

23

下単一膜からなるp型クラッド層を単一膜p型クラッド層という。本発明において、単一膜p型クラッド層8は、前記の如く $Al_bGa_{1-b}N$ ($0 \leq b \leq 1$) よりなる窒化物半導体である。また後述のp型低濃度ドープ層9が、 $Al_sGa_{1-s}N$ ($0 < s < 0.5$) よりなる場合、単一膜p型クラッド層8のAl組成比は、p型低濃度ドープ層9のAl組成比より高くなるように調整されることが、高発光出力を得るとともに良好な静電耐圧等を得る上で好ましい。また、単一膜p型クラッド層がAlを含まない場合、Alを含む場合に比べて、やや発光出力が低下するが、静電耐圧はAlを含む場合とほぼ同等の良好なものにできる。

【0068】単一膜p型クラッド層8の膜厚は、特に限定されないが、発光出力を向上させ、Vfを低くするために、好ましくは2000オングストローム以下、より好ましくは1000オングストローム以下とし、さらに好ましくは500～100オングストロームとする。

【0069】単一膜p型クラッド層8のp型不純物の濃度としては、前記多層膜p型クラッド層の場合と同様に中濃度ドープとなるように、好ましくは $5 \times 10^{17}/cm^3 \sim 1 \times 10^{21}/cm^3$ 、より好ましくは $5 \times 10^{18}/cm^3 \sim 5 \times 10^{20}/cm^3$ の範囲で調整する。不純物濃度を前記範囲とすると、良好なp型膜ができ、中濃度ドープの単一膜p型クラッド層とでき、発光出力の向上の点で好ましい。また、単一膜p型クラッド層8は、前記多層膜構造のp型クラッド層に比べ、結晶性はやや劣るもののほぼ同様に良好となり、またこの単一膜p型クラッド層8は、単一膜であるので製造工程の簡易化が可能となり、量産する場合に好ましい。

【0070】次に、本発明において、p型不純物を低濃度でドープしたp型低濃度ドープ層9は、一般式 $In_rAl_sGa_{1-r-s}N$ ($0 \leq r < 1$, $0 \leq s < 1$, $r + s < 1$) で表される種々の窒化物半導体を用いて形成することができるが、好ましくは $In_rGa_{1-r}N$ ($0 \leq r < 1$) 又は $Al_sGa_{1-s}N$ ($0 \leq s < 1$) で表される3元混晶の窒化物半導体、より好ましくは結晶性の点から2元混晶のGaNよりなる窒化物半導体を用いて形成する。すなわち、GaNを用いてp型低濃度ドープ層9を形成すると、その層9の結晶性を良好にでき、より高い静電耐圧特性を得ることができる。 $Al_sGa_{1-s}N$ ($0 \leq s < 1$) で表される3元混晶の窒化物半導体を用いてp型低濃度ドープ層9を形成する場合、Al組成比(多層膜とする場合は、平均のAl組成比)が前記p型多層膜層の平均のAl組成比又はp型単一膜層のAl組成比(p型クラッド層8のAl組成比)より小さい窒化物半導体を用いることが好ましく、このようにすると、順方向電圧(Vf)の上昇を抑えることができ、GaNを用いてp型低濃度ドープ層9を形成した場合と同等の良好な発光出力及び高い静電耐圧特性を得ることができる。また、p型低濃度ドープ層を、 $Al_sGa_{1-s}N$ ($0 < s$

24

< 0.5) よりなり且つAl組成比がp型クラッド層8のAl組成比より小さい窒化物半導体で形成すると、p型低濃度ドープ層9の膜厚を、GaNを用いてp型低濃度ドープ層を形成した場合に比較して、薄い膜厚でGaNを用いた場合と同等の良好な発光出力及び高い静電耐圧特性を得ることができ、GaNを用いた場合に比較して製造時間の短縮が可能となる。

【0071】また、本実施の形態1において、p型低濃度ドープ層9は、互いに組成の異なる2つの窒化物半導体が積層されてなる多層膜としてもよく、このようにしても、単層で形成した場合と同様の特性が得られる。また、p型低濃度ドープ層9を多層で構成する場合、一方の窒化物半導体層を $Al_sGa_{1-s}N$ ($0 < s < 0.5$) 層とし、p型低濃度ドープ層9の平均のAl組成比が、p型クラッド層8のAl組成比より小さくすることが好ましい。また、p型低濃度ドープ層9を多層で構成する場合、一方の窒化物半導体層を $Al_sGa_{1-s}N$ ($0 < s < 0.5$) 層とし、他方の窒化物半導体層をGaN層として、p型低濃度ドープ層9の平均のAl組成比が、p型クラッド層8のAl組成比より小さくすることがさらに好ましい。このように、p型低濃度ドープ層9を $Al_sGa_{1-s}N$ ($0 < s < 0.5$) 層を含む多層膜又は、 $Al_sGa_{1-s}N$ ($0 < s < 0.5$) 層とGaN層からなる多層膜とした場合、Alを含むp型低濃度ドープ層9の結晶性を良好にでき、高い静電耐圧特性を得ることができる。また、p型低濃度ドープ層9を多層膜とする場合、結晶性を良くするために、各層の膜厚は、好ましくは100オングストローム以下、数オングストローム以上とする。

【0072】本発明において、p型低濃度ドープ層9の膜厚は、良好な発光出力と良好な静電耐圧を得るために、好ましくは100～10000オングストローム、より好ましくは500～8000オングストローム、さらに好ましくは1000～4000オングストロームに設定する。また、p型低濃度ドープ層9を $Al_sGa_{1-s}N$ ($0 < s < 0.5$) よりなり且つAl組成比がp型クラッド層8のAl組成比より小さい窒化物半導体で形成した場合、又は $Al_sGa_{1-s}N$ ($0 < s < 0.5$) 層を含んでなり且つAl組成比がp型クラッド層8のAl組成比より小さい窒化物半導体で形成した場合、p型低濃度ドープ層9の膜厚は、好ましくは100～10000オングストローム、より好ましくは、300～5000オングストローム、よりいっそう好ましくは300～3000オングストロームに設定する。p型低濃度ドープ層9を $Al_sGa_{1-s}N$ ($0 < s < 0.5$) よりなり且つAl組成比がp型クラッド層8のAl組成比より小さい窒化物半導体で形成した場合、他の場合に比較して、膜厚を薄くしても良好な効果を得ることができる。

【0073】本発明において、p型低濃度ドープ層9のp型不純物濃度は、前記したようにp型クラッド層8及

25

びp型コンタクト層10のp型不純物濃度より低くなるように調整されていればよい。

【0074】このように、p型コンタクト層10とp型クラッド層8のp型不純物濃度よりも、低濃度ドーブの層としてp型低濃度ドーブ層9を、p型コンタクト層10とp型クラッド層8との間に形成することにより、発光出力の向上と共に、静電耐圧を良好にすることができる。

【0075】低濃度ドーブ層9のp型不純物濃度としては、前記のように隣接する層とのp型不純物濃度の関係が形成されているならば特に限定されないが、静電耐圧を高くするために、図3に示すように、好ましくは、 $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 未満、より好ましくは $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以下とする。低濃度ドーブ層9のp型不純物濃度の下限値は特に限定されるものではなく、アンドープであってもよい。しかしながら、低濃度ドーブ層9のp型不純物濃度は、その層9を成長させるときのp型不純物のドーブ量と、p型クラッド層8のp型不純物濃度及びp型低濃度ドーブ層9の膜厚とに応じてp型不純物濃度が決定される。従って、p型低濃度ドーブ層9をp型不純物をドーブしながら形成した場合においても、p型クラッド層8等からのp型不純物の拡散により、p型低濃度ドーブ層9におけるp型不純物濃度は、実施の形態2の図2と同様の傾向を有する濃度分布を示し、濃度の低いボトム領域が形成され、そのボトム領域の最小p型不純物濃度は、例えば、 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 以上とすることが好ましい。

【0076】次に、本発明において、p型不純物の高濃度ドーブのp型コンタクト層10は、前記低濃度ドーブ層9と同様に、一般式 $\text{In}_r\text{Al}_s\text{Ga}_{1-r-s}\text{N}$ ($0 \leq r < 1$, $0 \leq s < 1$, $r + s < 1$) で表される窒化物半導体を用いて形成することができるが、結晶性の良好な層を形成するために、好ましくは3元混晶の窒化物半導体、より好ましくはIn、Alを含まない二元混晶のGaNからなる窒化物半導体とする。更にp型コンタクト層10をIn、Alを含まない2元混晶とすると、p電極11とのオーミック接触をより良好とでき、発光効率を向上させることができる。p型コンタクト層10の膜厚は、Vfを低下させかつ静電耐圧を向上させるために、好ましくは、 $0.001 \sim 0.5 \mu\text{m}$ とし、より好ましくは $0.01 \sim 0.3 \mu\text{m}$ 、よりいっそう好ましくは $0.05 \sim 0.2 \mu\text{m}$ とする。

【0077】また、高濃度ドーブのp型コンタクト層10のp型不純物としては、p型クラッド層と同様の種々のp型不純物を用いることができるが、好ましくはMgとする。p型コンタクト層10にドーブするp型不純物がMgとすると、p型特性が容易に得られ、またオーミック接触を容易に形成することができる。p型コンタクト層10の不純物濃度は、特に限定されるものではなく、p型クラッド層8と低濃度ドーブ層9のp型不純物

26

濃度より高く設定すればよい。しかしながら、本発明において、p型コンタクト層10の不純物濃度は、Vfを低くするために、好ましくは、 $1 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ 、好ましくは $5 \times 10^{19} \sim 3 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 、より好ましくは $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 程度とする。

【0078】また、n電極12はn側コンタクト層4上に、p電極はp型不純物の高濃度ドーブのp側コンタクト層10上に、それぞれ形成されている。n電極及びp電極の材料は、本発明の構成上、特に限定されるものではないが、例えばn電極としてはW/Al、p電極としてはNi/Auなどを用いることができる。

【0079】実施の形態2. 以下、本発明に係る実施の形態2について説明する。本実施の形態2の窒化物半導体素子は、本発明に係る第2の窒化物半導体素子に関係した素子である。本実施の形態2は、p型低濃度ドーブ層9をアンドープの層として形成することによりp型低濃度ドーブ層9のp型不純物濃度をp型クラッド層8及びp型コンタクト層10より低濃度でかつそのp型低濃度ドーブ層9における最小p型不純物濃度が $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 未満になるように設定したこと以外は、実施の形態1と同様に構成される。尚、本実施の形態2におけるp型クラッド層8が、第2の窒化物半導体素子における第1p型層に対応する。すなわち、本実施の形態2では、p型低濃度ドーブ層9をアンドープの層として形成することにより、p型クラッド層8及びp型コンタクト層10からp型不純物をp型低濃度ドーブ層9に拡散させ、そのp型低濃度ドーブ層9のp型不純物濃度をp型クラッド層8及びp型コンタクト層10より低濃度でかつそのp型低濃度ドーブ層9における最小p型不純物濃度が $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 未満になるように設定している。

【0080】ここで、最小p型不純物濃度とは、図2に示すp型不純物濃度分布曲線50の最小濃度点51における濃度をいい、本実施の形態2においてこの最小p型不純物濃度は、後述するように主としてp型低濃度ドーブ層9の膜厚により調整する。また、図2は、p型低濃度ドーブ層9の不純物濃度を、p型コンタクト層10およびp型クラッド層8からのp型不純物の拡散により設定した場合の、p型コンタクト層10の表面からの深さに対するp型不純物の濃度を示すグラフであり、濃度分布の実測値に基いて模式的に描いたものである。

【0081】このようにp型低濃度ドーブ層9のp型不純物の濃度分布が隣接の層からの拡散によって決定される場合、p型低濃度ドーブ層9内のp型不純物濃度は、図2に示すように、p型クラッド層及びp型コンタクト層との各接合面から厚さ方向に離れるに従ってそれぞれ減少する分布(p型不純物濃度分布)を示す。そしてそのp型不純物濃度分布曲線50において、p型クラッド層との接合面及びp型コンタクト層との接合面の間に不純物濃度の最小点(最小p型不純物濃度51)が形成さ

27

れる。

【0082】尚、図2の分布曲線50において、p型低濃度ドーブ層9とp型コンタクト層との接合面から濃度最小点までの変化は、p型低濃度ドーブ層9とp型クラッド層との接合面から濃度最小点までの変化に比較して極めて急峻である。従って、p型低濃度ドーブ層9の濃度分布において、その濃度最小点は、p型低濃度ドーブ層9内においてp型コンタクト層に近接して形成される。このようにp型低濃度ドーブ層9において、p型コンタクト層10側の濃度勾配とp型クラッド層側の濃度勾配とが異なる理由は、p型クラッド層側における濃度勾配がp型低濃度ドーブ層9の成長中における拡散によるものであるのに対し、p型コンタクト層10側の濃度勾配が成長後のp型低濃度ドーブ層9への拡散によるものであるという違いに起因するものと考えられる。

【0083】以上のように隣接する層からのp型不純物の拡散によりp型低濃度ドーブ層9の不純物濃度を設定する場合、その不純物濃度は、隣接層の濃度や、p型低濃度ドーブ層自身若しくは隣接層の成長温度、膜厚、成長レート等の影響を受け、それらの各条件を適宜選択することにより調整する必要がある。しかしながら、p型クラッド層8及びp型コンタクト層10のp型不純物濃度は、素子の要求特性に従ってある所定の範囲に設定されるものであることから、本実施の形態2において、p型低濃度ドーブ層9の不純物濃度は、主として、p型低濃度ドーブ層9の膜厚を調整することにより設定される。例えば、p型クラッド層のp型不純物濃度を同一としても、p型低濃度ドーブ層9の膜厚が厚くなるとp型低濃度ドーブ層9の最低濃度値を低くできる。

【0084】言いかえれば、本実施の形態2の窒化物半導体素子において、p型クラッド層8のp型不純物濃度およびp型コンタクト層のp型不純物濃度を考慮して、p型低濃度ドーブ層9におけるp型不純物濃度分布の最小p型不純物濃度が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 未満になるように、p型低濃度ドーブ層9の膜厚は設定される。また、低濃度ドーブ層9の最低p型不純物濃度をより低くしようとするればp型低濃度ドーブ層9の膜厚を厚くすればよいが、低濃度ドーブ層9の最低のp型不純物濃度は、p型低濃度ドーブ層9の膜厚が厚くなり過ぎないように例えば $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上に設定することが好ましい。尚、p型低濃度ドーブ層9の膜厚を厚くすると、p型低濃度ドーブ層9におけるp型不純物濃度分布の不純物濃度が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 未満になる領域（ボトム領域）が広がるが、本発明では、この広いボトム領域を有していても良好な結果が得られることはいうまでもない。

【0085】以上のように構成された実施の形態2の窒化物半導体素子は、p型低濃度ドーブ層9をアンドープとして形成することにより、p型クラッド層8、p型低濃度ドーブ層9及びp型コンタクト層10の3層間にお

28

けるp型不純物濃度の関係を、中濃度ドーブ、低濃度ドーブ、高濃度ドーブとなるように容易に調整することができ、これによって、実施の形態1と同様に、発光出力の向上と共に静電耐圧を高くすることができる。このように本実施の形態2において、静電耐圧を高くすることができる理由は、実施の形態1において静電耐圧を高くすることができる理由と同様の理由、すなわち、p型低濃度ドーブ層9が抵抗率の高い層となっていることによるものと思われる。

【0086】尚、本実施の形態2において、実施の形態1と同様、p型低濃度ドーブ層9は、一般式 $\text{In}_r\text{Al}_s\text{Ga}_{1-r-s}\text{N}$ ($0 \leq r < 1$, $0 \leq s < 1$, $r + s < 1$) で表される窒化物半導体を用いて形成することができるが、好ましくは $\text{In}_r\text{Ga}_{1-r}\text{N}$ ($0 \leq r < 1$) 又は $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ ($0 \leq s < 1$) で表される3元混晶の窒化物半導体、より好ましくは結晶性の点から2元混晶の GaN よりなる窒化物半導体を用いて形成する。すなわち、 GaN を用いてp型低濃度ドーブ層9を形成すると、その層9の結晶性を良好にでき、より高い静電耐圧特性を得ることができる。 $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ ($0 \leq s < 1$) で表される3元混晶の窒化物半導体を用いてp型低濃度ドーブ層9を形成する場合は、 Al 組成比が前記p型多層膜層の平均の Al 組成比又はp型単一膜層の Al 組成比（p型クラッド層8の Al 組成比）より小さい窒化物半導体を用いることが好ましく、このようにすると、順方向電圧（ V_f ）の上昇を抑えることができ、 GaN を用いてp型低濃度ドーブ層9を形成した場合と同等の良好な発光出力及び高い静電耐圧特性を得ることができる。

【0087】また、本実施の形態2において、p型低濃度ドーブ層9は、互いに組成の異なる2つの窒化物半導体が積層されてなる多層膜としてもよく、このようにしても、単層で形成した場合と同様の特性が得られる。また、p型低濃度ドーブ層9を多層で構成する場合、一方の窒化物半導体層を $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ ($0 < s < 0.5$) 層とし、p型低濃度ドーブ層9の平均の Al 組成比が、p型クラッド層8の Al 組成比より小さくすることが好ましい。また、p型低濃度ドーブ層9を多層で構成する場合、一方の窒化物半導体層を $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ ($0 < s < 0.5$) 層とし、他方の窒化物半導体層を GaN 層として、p型低濃度ドーブ層9の平均の Al 組成比が、p型クラッド層8の Al 組成比より小さくすることがさらに好ましい。このように、p型低濃度ドーブ層9を $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ ($0 < s < 0.5$) 層を含む多層膜又は、 $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ ($0 < s < 0.5$) 層と GaN 層からなる多層膜とした場合、 Al を含むp型低濃度ドーブ層9の結晶性を良好にでき、高い静電耐圧特性を得ることができる。また、p型低濃度ドーブ層9を多層膜とする場合、結晶性を良くするために、各層の膜厚は、好ましくは100オングストローム以下、数オングストローム以上とする。

29

【0088】尚、本発明においては、p型低濃度ドーブ層9を成長させる際にp型不純物をドーブして成長させてもよい。また、p型低濃度ドーブ層9の成長の際にp型不純物をドーブして成長させた場合においても、p型低濃度ドーブ層9の不純物濃度が、図2のp型不純物分布曲線と同様のカーブを描き、かつその最小p型不純物濃度が $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 未満になるようにドーブ量を比較的低い値に設定すると、本実施の形態と同様の作用効果が得られる。

【0089】以上の実施の形態2において、上述したp型低濃度ドーブ層9以外の他の半導体層に関する好ましい構成（多層又は単層構成、組成及び不純物濃度等）は、実施の形態1と同様であり、その構成により得られる作用効果も実施の形態1と同様である。

【0090】すなわち、本実施の形態において、例えば、活性層7は、多重量子井戸構造としてもよいし、単一量子井戸構造としてもよい。本実施の形態2において、活性層7を単一量子井戸構造として素子を構成した場合、多重量子井戸構造とした場合と比較して発光出力はやや低くなるものの、静電耐圧は同等の良好な特性が得られる。

【0091】以上の実施の形態2の窒化物半導体素子では、本発明における好ましい形態として、p型クラッド層8、p型低濃度ドーブ層9及びp型コンタクト層10の3層間におけるp型不純物濃度の関係を、中濃度ドーブ、低濃度ドーブ、高濃度ドーブとした場合について説明したが、本発明はこれに限られるものではなく、少なくともp型低濃度ドーブ層9のp型不純物濃度を、p型クラッド層8及びp型コンタクト層10より低く設定し、かつそのp型低濃度ドーブ層9における最小p型不純物濃度が $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 未満になるようにすればよい。すなわち、本発明において、p型クラッド層8のp型不純物濃度とp型コンタクト層10のp型不純物濃度は同一でもよいし、p型クラッド層8のp型不純物濃度をp型コンタクト層10のp型不純物濃度より高くしても良い。このように構成しても、単一量子井戸構造の活性層を用いた素子においては、静電耐圧を高くすることができ、多重量子井戸構造の活性層を用いた素子においては、発光出力及び静電耐圧をともに高くすることができる。また、本発明に係る窒化物半導体素子は、p側の層をp型化して低抵抗とするために、アニーリング処理を行っている。アニーリング処理としては、特許第2540791号に記載されているように、気相成長法により、p型不純物がドーブされた窒化ガリウム系化合物半導体を成長させた後、実質的に水素を含まない雰囲気中、400℃以上の温度で熱処理を行い、p型不純物がドーブされた窒化ガリウム系化合物半導体から水素を出すことにより、p型にする方法が挙げられる。

【0092】

【実施例】以下に本発明に係る実施例を示すが、本発明

30

はこれに限定されない。

【実施例1】図1を元に実施例1について説明する。サファイア（C面）よりなる基板1をMOVPEの反応容器内にセットし、水素を流しながら、基板の温度を1050℃まで上昇させ、基板のクリーニングを行う。

【0093】（バッファ層2）続いて、温度を510℃まで下げ、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG（トリメチルガリウム）とを用い、基板1上にGaNよりなるバッファ層2を約100オングストロームの膜厚で成長させる。

【0094】（アンドープGaN層3）バッファ層2成長後、TMGのみ止めて、温度を1050℃まで上昇させる。1050℃になったら、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガスを用い、アンドープGaN層3を1.5μmの膜厚で成長させる。

【0095】（n型コンタクト層4）続いて1050℃で、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガス、不純物ガスにシランガスを用い、Siを $4.5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドーブしたGaNよりなるn型コンタクト層4を2.265μmの膜厚で成長させる。

【0096】（n型第1多層膜層5）次にシランガスのみを止め、1050℃で、TMG、アンモニアガスを用い、アンドープGaNからなる下層5aを2000オングストロームの膜厚で成長させ、続いて同温度にてシランガスを追加しSiを $4.5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドーブしたGaNからなる中間層5bを300オングストロームの膜厚で成長させ、更に続いてシランガスのみを止め、同温度にてアンドープGaNからなる上層5cを50オングストロームの膜厚で成長させ、3層からなる総膜厚2350オングストロームの第1多層膜層5を成長させる。

【0097】（n型第2多層膜層6）次に、同様の温度で、アンドープGaNよりなる第4の窒化物半導体層を40オングストローム成長させ、次に温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニアを用い、アンドープIn_{0.13}Ga_{0.87}Nよりなる第3の窒化物半導体層を20オングストローム成長させる。そしてこれらの操作を繰り返し、第4+第3の順で交互に10層ずつ積層させ、最後にGaNよりなる第4の窒化物半導体層を40オングストローム成長させた超格子構造の多層膜よりなるn型第2多層膜層6を640オングストロームの膜厚で成長させる。

【0098】（活性層7）次に、アンドープGaNよりなる障壁層を200オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニアを用いアンドープIn_{0.4}Ga_{0.6}Nよりなる井戸層を30オングストロームの膜厚で成長させる。そして障壁+井戸+障壁+井戸・・・+障壁の順で障壁層を5層、井戸層を4層、交互に積層して、総膜厚1120オングストロームの多重量子井戸構造よりなる活性層

31

7を成長させる。

【0099】（中濃度ドーブの多層膜p型クラッド層8）次に、温度1050℃でTMG、TMA、アンモニア、 Cp2Mg （シクロペンタジエニルマグネシウム）を用い、 Mg を $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドーブしたp型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる第1の窒化物半導体層を40オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニア、 Cp2Mg を用い、 Mg を $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドーブした $\text{In}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ よりなる第2の窒化物半導体層を25オングストロームの膜厚で成長させる。そしてこれらの操作を繰り返し、第1+第2の順で交互に5層ずつ積層し、最後に第1の窒化物半導体層を40オングストロームの膜厚で成長させた超格子構造の多層膜よりなるp側多層膜クラッド層8を365オングストロームの膜厚で成長させる。

【0100】（低濃度ドーブのp型低濃度ドーブ層9）続いて、1050℃で、TMG、アンモニアを用い、アンドープの GaN よりなるp型低濃度ドーブ層9を2000オングストロームの膜厚で成長させる。この低濃度ドーブ層9は、成長時はアンドープとして成長させるが、中濃度ドーブの多層膜p型クラッド層8にドーブされている Mg が、低濃度ドーブ層9を成長する間に拡散し、さらに下記の高濃度ドーブのp型コンタクト層10を成長させる際に Mg が拡散し、低濃度ドーブ層9はp型を示す。この低濃度ドーブ層9の Mg 濃度は、最も濃度が低い部分では、 $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ となる。また低濃度ドーブ層9の Mg 濃度の変化は、図2に示すように、p型クラッド層8に接している部分ではp型クラッド層の Mg 濃度とほぼ同様の値を示すが、p型クラッド層8から離れるに従い徐々に減少し、p型コンタクト層10と接近している付近（p型コンタクト層10を成長させる直前）での Mg 濃度がほぼ最低値を示す。

【0101】（高濃度ドーブのp型コンタクト層10）続いて、1050℃で、TMG、アンモニア、 Cp2Mg を用い、 Mg を $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドーブした GaN よりなるp型コンタクト層10を1200オングストロームの膜厚で成長させる。

【0102】反応終了後、温度を室温まで下げ、さらに窒素雰囲気中、ウェーハを反応容器内において、700℃でアニーリングを行い、p型層をさらに低抵抗化する。

【0103】アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、最上層のp型コンタクト層10の表面に所定の形状のマスクを形成し、RIE（反応性イオンエッチング）装置でp型コンタクト層10側からエッチングを行い、図1に示すようにn型コンタクト層4の表面を露出させる。

【0104】エッチング後、最上層にあるp型コンタクト層10のほぼ全面に膜厚200オングストロームの Ni と Au を含む透光性のp電極11と、そのp電極10

32

の上にボンディング用の Au よりなるpパッド電極12を0.5 μm の膜厚で形成する。一方、エッチングにより露出させたn型コンタクト層4の表面には W と Al を含むn電極12を形成してLED素子とした。

【0105】このLED素子は順方向電流20mAにおいて、520nmの純緑色発光を示し、 V_f は3.5Vで、従来の多重量子井戸構造のLED素子に比較して、 V_f で1.0V近く低下し、出力は2.0倍以上に向上した。更に、得られたLEDの静電耐圧をLED素子のn層及びp層の各電極より逆方向に徐々に電圧を加え測定したところ、従来の1.5倍以上となり、また順方向に電圧を加えたところ、従来の2倍以上となり良好な結果が得られた。

【0106】なお、従来のLED素子の構成は、 GaN よりなる第1のバッファ層の上に、アンドープ GaN よりなる第2のバッファ層、Siドーブ GaN よりなるn側コンタクト層、実施例1と同一の多重量子井戸構造よりなる活性層、単一の Mg ドーブ $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層、 Mg ドーブ GaN からなるp側コンタクト層を順に積層したものである。

【0107】【実施例2】実施例1において、活性層7を以下のように変える他は同様にしてLED素子を作製した。

（活性層7）次に、アンドープ GaN よりなる障壁層を250オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニアを用い、アンドープ $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ よりなる井戸層を30オングストロームの膜厚で成長させる。そして障壁+井戸+障壁+井戸・・・+障壁の順で障壁層を7層、井戸層を6層、交互に積層して、総膜厚1930オングストロームの多重量子井戸構造よりなる活性層7を成長させる。得られたLED素子は、順方向電流20mAにおいて、470nmの純青色発光を示し、実施例1と同様に良好な結果が得られる。

【0108】【実施例3】実施例1において、活性層7を以下のように変える他は同様にしてLED素子を作製した。

（活性層7）次に、アンドープ GaN よりなる障壁層を250オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニアを用い、アンドープ $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ よりなる井戸層を30オングストロームの膜厚で成長させる。そして障壁+井戸+障壁+井戸・・・+障壁の順で障壁層を6層、井戸層を5層、交互に積層して、総膜厚1650オングストロームの多重量子井戸構造よりなる活性層7を成長させる。得られたLED素子は、順方向電流20mAにおいて、470nmの純青色発光を示し、実施例1と同様に良好な結果が得られる。

【0109】【実施例4】実施例1において、活性層7を以下のように変える他は同様にしてLED素子を作製

10

20

30

40

50

33

した。

(活性層7) 次に、アンドープGa_{0.35}Nよりなる障壁層を250オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニアを用いアンドープIn_{0.35}Ga_{0.65}Nよりなる井戸層を30オングストロームの膜厚で成長させる。そして障壁+井戸+障壁+井戸・・・+障壁の順で障壁層を7層、井戸層を6層、交互に積層して、総膜厚1930オングストロームの多重量子井戸構造よりなる活性層7を成長させる。得られたLED素子は、順方向電流20mAにおいて、500nmの青緑色発光を示し、実施例1と同様に良好な結果が得られる。

【0110】 [実施例5] 実施例1において、活性層7を以下のように変える他は同様にしてLED素子を作製した。

(活性層7) 次に、アンドープGa_{0.35}Nよりなる障壁層を250オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニアを用いアンドープIn_{0.35}Ga_{0.65}Nよりなる井戸層を30オングストロームの膜厚で成長させる。そして障壁+井戸+障壁+井戸・・・+障壁の順で障壁層を4層、井戸層を3層、交互に積層して、総膜厚1090オングストロームの多重量子井戸構造よりなる活性層7を成長させる。得られたLED素子は、順方向電流20mAにおいて、500nmの青緑色発光を示し、実施例1と同様に良好な結果が得られる。

【0111】 [実施例6] 実施例1において、n側第2多層膜層6を成長させない他は同様にしてLED素子を作製した。得られたLED素子は、実施例1に比べやや素子特性及び発光出力が低いものの、静電耐圧は実施例1とほぼ同様に良好となる。

【0112】 [実施例7] 実施例1において、多層膜p型クラッド層8を以下のように変える他は同様にしてLED素子を作製した。

(単一膜p型クラッド層8) 温度1050℃でTMG、TMA、アンモニア、Cp2Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgを $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドーブしたp型Al_{0.16}Ga_{0.84}Nよりなる単一膜p型クラッド層8を300オングストロームの膜厚で成長させる。得られたLED素子は、クラッド層を超格子とせず単一の層として成長させているが、その他の層構成との組み合わせにより、実施例1よりやや発光出力などの性能が劣るものの、静電耐圧はほぼ同様に良好な結果が得られる。また、単一層とすると、多層膜層にする場合に比べ製造工程が簡易化でき好ましい。

【0113】 [実施例8] 実施例1において、n型コンタクト層4とn型第1多層膜層5を以下のように各膜厚を変更する他は同様にしてLED素子を作製した。

(n型コンタクト層4) 実施例1のn型コンタクト層4において、膜厚を2.165μmとする他は同様にし

34

て、n型コンタクト層4を成長させる。

(n型第1多層膜層5) 次にシランガスのみを止め、1050℃で、TMG、アンモニアガスを用い、アンドープGa_{0.35}Nからなる下層5aを3000オングストロームの膜厚で成長させ、続いて同温度にてシランガスを追加しSiを $4.5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドーブしたGa_{0.35}Nからなる中間層5bを300オングストロームの膜厚で成長させ、更に続いてシランガスのみを止め、同温度にてアンドープGa_{0.35}Nからなる上層5cを50オングストロームの膜厚で成長させ、3層からなる総膜厚3350の第1多層膜層5を成長させる。得られたLED素子は、実施例1とほぼ同等の特性を有し、良好な結果が得られる。

【0114】 [実施例9] 実施例8において、n型コンタクト層4の膜厚を4.165μmとして、アンドープGa_{0.35}N層3、n型コンタクト層4及びn型第1多層膜層5の合計の膜厚を6.0μmとする他は同様にしてLED素子を作製する。得られたLED素子は、静電耐圧が実施例8よりやや良好となるが、実施例8とほぼ同等の特性を示し、良好な結果が得られる。

【0115】 [実施例10] 実施例8において、p型低濃度ドーブ層9の膜厚を3000オングストロームにし、p型低濃度ドーブ層9のMg濃度がほぼ $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ となる他は同様にしてLED素子を作製する。得られたLED素子は、実施例8と同様に良好な結果が得られる。

【0116】 [実施例11] 実施例8において、中濃度ドーブの多層膜p型クラッド層8の第1の窒化物半導体層及び第2の窒化物半導体層のMg濃度を $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ とし、高濃度ドーブのp型コンタクト層10のMg濃度を $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ とし、更に低濃度ドーブ層9のMg濃度がほぼ $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ となる他は同様にしてLED素子を作製する。得られたLED素子は実施例8と同様に良好な結果が得られる。

【0117】 [実施例12] 実施例8において、中濃度ドーブの多層膜p型クラッド層8の第1の窒化物半導体層のMg濃度を $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ にし、第2の窒化物半導体層をアンドープとし、不純物濃度の異なる第1の窒化物半導体層と第2の窒化物半導体層とから多層膜p型クラッド層8を形成する他は同様にしてLED素子を作製する。中濃度ドーブの多層膜p型クラッド層8全体の平均Mg濃度は $2 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ となり、隣接の低濃度ドーブ層9のMg濃度の最低値は $3 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ となり、高濃度ドーブのp型コンタクト層10のMg濃度は $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ となる。得られたLED素子は、実施例8とほぼ同様に良好な結果が得られる。

【0118】 [実施例13] 実施例1において、p型低濃度ドーブ層9を、TMG、TMA、アンモニアを用い、膜厚1000オングストロームのAl_{0.05}Ga_{0.95}Nからなるp型低濃度ドーブ層9を成長させる他は同様にしてLED素子を作製する。p型低濃度ドーブ層9の

35

最も濃度の低い部分のMg濃度は、p型クラッド層8及びp型コンタクト層10より低濃度である。得られたLEDは、実施例1とほぼ同様に良好な結果が得られる。

【0119】[実施例14] 実施例1において、p型低濃度ドーブ層9の成長の際に、TMG、Cp2Mg、アンモニアを用い、最も濃度が低い部分のMg濃度が $8 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ となるようにCp2Mgのガスの流量を調整して、膜厚2000オングストロームのGaNからなるp型低濃度ドーブ層9を成長させる他は同様にしてLED素子を作製する。得られたLED素子は、実施例1と

【0120】[実施例15] 実施例8において、p型低濃度ドーブ層9の膜厚を1000オングストロームにし、p型低濃度ドーブ層9の最も濃度が低い部分のMg濃度がほぼ $6.4 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ となる他は同様にしてLED素子を作製する。得られたLED素子は、実施例8とほぼ同様に良好な結果が得られる。

【0121】[実施例16] 実施例8において、n型コンタクト層4の膜厚を、 $5.165 \mu\text{m}$ 、 $7.165 \mu\text{m}$ とし、アンドープGaN層3、n型コンタクト層4及びn型第1多層膜層5の合計の膜厚をそれぞれ $7.0 \mu\text{m}$ 、 $9.0 \mu\text{m}$ とする他は同様にして2種のLED素子を作製する。得られたLED素子は、静電耐圧が実施例8よりやや良好となるが、いずれも実施例8とほぼ同等の特性を示し、良好な結果が得られる。

【0122】[実施例17] 実施例8において、中濃度ドーブの多層膜p型クラッド層8をアンドープの $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる第1の窒化物半導体層と、Mgを $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドーブした $\text{In}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ よりなる第2の窒化物半導体層とからなる多層膜とする他は

【0123】[実施例18] 実施例8において、n型第1多層膜層5が、アンドープGaNからなる3000オングストロームの膜厚の下層5aと、 $4.5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドーブした300オングストロームの膜厚の $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ からなる中間層5bと、アンドープGaNからなる50オングストロームの膜厚の上層5cとを成長させてなる他は同様にしてLED素子を作製する。得られたLED素子は、実施例8とほぼ同等の特性を有し、

【0124】[実施例19] 実施例8において、n型第1多層膜層5が、アンドープ $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ からなる3000オングストロームの膜厚の下層5aと、 $4.5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドーブした300オングストロームの膜厚の $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ からなる中間層5bと、アンドープ $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ からなる50オングストロームの膜厚の上層5cとを成長させてなる他は同様にしてLED素子を作製する。得られたLED素子は、実施例8とほぼ同等の特性を有し、良好な結果が得られる。

36

【0125】[実施例20] 実施例8において、n側第1多層膜層5が、アンドープ $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ からなる3000オングストロームの膜厚の下層5aと、 $4.5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドーブした300オングストロームの膜厚のGaNからなる中間層5bと、アンドープGaNからなる50オングストロームの膜厚の上層5cとを成長させてなる他は同様にしてLED素子を作製する。得られたLED素子は、実施例8とほぼ同等の特性を有し、良好な結果が得られる。

【0126】[実施例21] 実施例8において、n側コンタクト層4を、Siを $4.5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドーブした $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ の膜厚 $4.165 \mu\text{m}$ とする他は同様にしてLED素子を作製する。得られたLED素子は、実施例8とほぼ同等の特性を示す。

【0127】[実施例22] 実施例1において、n型第1多層膜層5に変えて、アンドープのGaNからなる膜厚1500オングストロームの単一アンドープ層を形成する他は同様にしてLED素子を作製する。得られたLED素子は、実施例1に比べてやや静電耐圧が低下する傾向があるが、ほぼ同等の素子特性を示す。

【0128】[実施例23] 実施例1において、n型第2多層膜層6を、アンドープのGaNよりなる第4の窒化物半導体層と、Siを $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ ドーブした $\text{In}_{0.13}\text{Ga}_{0.87}\text{N}$ よりなる第3の窒化物半導体層とからなる多層膜とする他は同様にしてLED素子を作製する。得られたLED素子は、実施例1とほぼ同等の素子特性を示す。

【0129】[実施例24] 実施例24では、実施例1において、p型低濃度ドーブ層を、膜厚50オングストロームのアンドープ $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ と膜厚50オングストロームのアンドープGaNを交互に積層することにより全体の膜厚が2000オングストロームになるように形成した以外は、実施例1と同様にしてLED素子を作製した。このようにして作製した実施例24のLED素子は、実施例1とほぼ同等の素子特性を示していた。

【0130】[実施例25] 実施例25では、実施例1において、p型クラッド層のp型不純物濃度を $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 、p型コンタクト層のp型不純物濃度を $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ とし、かつp型低濃度ドーブ層の最も濃度が低い部分を $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 未満とした以外は、実施例1と同様にしてLED素子を作製した。このようにして作製した実施例25のLED素子は、実施例1とほぼ同等の素子特性を示していた。

【0131】[実施例26] 実施例26では、実施例1において、p型クラッド層（第1p型層）8を、Mgを $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドーブした300オングストロームの厚さのGaNで形成し、p型低濃度ドーブ層を、膜厚2000オングストロームのアンドープGaNを用いて形成した以外は、実施例1と同様にしてLED素子を作

37

製した。このようにして作製した実施例26のLED素子は、実施例1に比較して発光出力は少し劣るが静電耐圧はほぼ同等の素子特性を示していた。

【0132】〔実施例27〕実施例27では、実施例1において、p型クラッド層（第1p型層）8を、Mgを $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープした300オングストロームの厚さのGaNで形成し、p型低濃度ドープ層を、膜厚2000オングストロームのアンドープAl_{0.05}Ga_{0.95}Nを用いて形成した以外は、実施例1と同様にしてLED素子を作製した。このようにして作製した実施例27のLED素子は、実施例1に比較して発光出力は少し劣るが静電耐圧はほぼ同等の素子特性を示していた。

【0133】〔実施例28〕実施例28では、実施例9において、活性層7及びp型低濃度ドープ層9を次のように形成した以外は、実施例9と同様にしてLED素子を作製した。

（活性層7）アンドープGaNよりなる障壁層を250オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニアを用いアンドープIn_{0.3}Ga_{0.7}Nよりなる井戸層を30オングストロームの膜厚で成長させる。そして障壁+井戸+障壁+井戸・・・+障壁の順で障壁層を6層、井戸層を5層、交互に積層して、総膜厚1650オングストロームの多重量子井戸構造よりなる活性層7を成長させる。

（p型低濃度ドープ層9）TMG、TMA、アンモニアを用い、アンドープのAl_{0.05}Ga_{0.95}Nよりなるp型低濃度ドープ層9を2000オングストロームの膜厚で成長させる。このp型低濃度ドープ層9の最もMg濃度が低い部分の濃度は、 $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ である。このようにして作製した実施例28のLED素子は、実施例9と同様の良好な素子特性を有していた。

【0134】〔実施例29〕実施例29では、実施例28において、活性層7を次のように形成した以外は、実施例28と同様にしてLED素子を作製した。

（活性層7）アンドープGaNよりなる障壁層を250オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニアを用いアンドープIn_{0.35}Ga_{0.65}Nよりなる井戸層を30オングストロームの膜厚で成長させる。そして障壁+井戸+障壁+井戸・・・+障壁の順で障壁層を7層、井戸層を6層、交互に積層して、総膜厚1930オングストロームの多重量子井戸構造よりなる活性層7を成長させる。以上のようにして作製された実施例29のLED素子は、実施例28と同等の良好な素子特性を有していた。

【0135】〔実施例30〕実施例30では、実施例28において、活性層7を次のように形成した以外は、実施例28と同様にしてLED素子を作製した。

38

（活性層7）アンドープGaNよりなる障壁層を200オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニアを用いアンドープIn_{0.4}Ga_{0.6}Nよりなる井戸層を30オングストロームの膜厚で成長させる。そして障壁+井戸+障壁+井戸・・・+障壁の順で障壁層を5層、井戸層を4層、交互に積層して、総膜厚1120オングストロームの多重量子井戸構造よりなる活性層7を成長させる。以上のようにして作製された実施例30のLED素子は、実施例28と同等の良好な素子特性を有していた。

【0136】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明に係る第1の窒化物半導体素子によれば、多重量子井戸構造の活性層を用い素子において発光出力及び静電耐圧を向上させることができ、種々の応用製品への適用範囲の拡大が可能な窒化物半導体発光素子を提供することができる。また、本発明に係る第2の窒化物半導体素子によれば、静電耐圧を向上させることができ、静電気による劣化の少ない窒化物半導体素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施の形態であるLED素子の構造を示す模式断面図である。

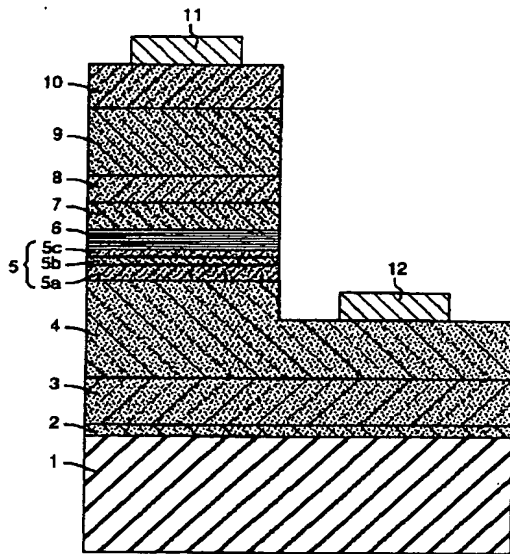
【図2】 本発明の低濃度ドープ層と、その層に隣接する中濃度ドープのp型クラッド層及び高濃度ドープのp型コンタクト層内のp型不純物濃度の変化の分布について、変化の様子を示した模式的なグラフである。

【図3】 p型低濃度ドープ層の不純物濃度に対する平均破壊耐圧（100個のサンプルの平均）を示すグラフである。

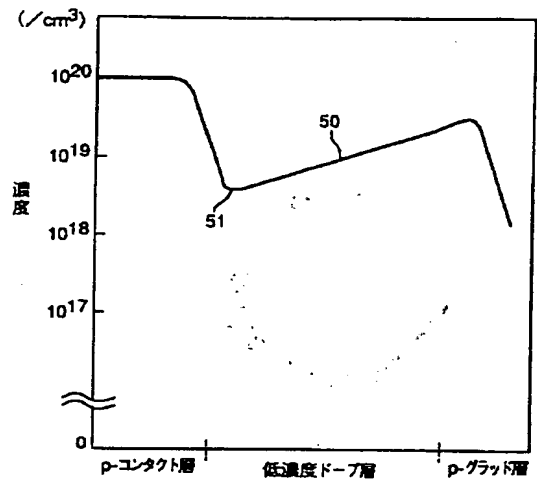
【符号の説明】

- 1・・・サファイア基板
- 2・・・バッファ層
- 3・・・アンドープGaN層
- 4・・・n型コンタクト層
- 5・・・n型第1多層膜層
- 5a・・・アンドープの下層
- 5b・・・n型不純物ドープの中間層
- 5c・・・アンドープの上層
- 6・・・n型第2多層膜層
- 7・・・活性層
- 8・・・中濃度ドープのp型クラッド層
- 9・・・低濃度ドープのp型低濃度ドープ層
- 10・・・高濃度ドープのp型コンタクト層
- 11・・・p電極
- 12・・・n電極

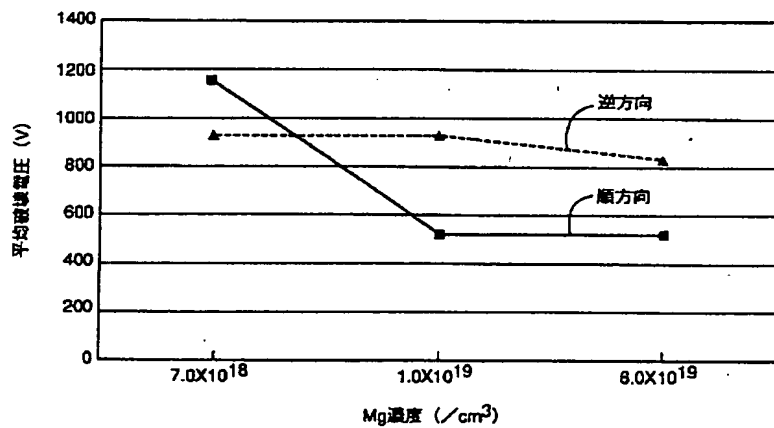
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

(31) 優先権主張番号 特願平11-113050
 (32) 優先日 平成11年4月21日(1999. 4. 21)
 (33) 優先権主張国 日本(JP)

(31) 優先権主張番号 特願平11-254238
 (32) 優先日 平成11年9月8日(1999. 9. 8)
 (33) 優先権主張国 日本(JP)